

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERO AMBIENTAL**

**TEMA:
AMENAZAS, VULNERABILIDADES Y ADAPTACIÓN A INUNDACIONES
EN EL MARCO DEL CAMBIO CLIMÁTICO: CASO DE ESTUDIO
MACHALA.**

**AUTOR:
ROBERTO ANDRÉS REISANCHO PUETATE**

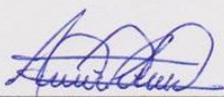
**TUTORA:
MARÍA SHEILA FABIOLA SERRANO VINCENTI**

Quito, julio del 2016

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Roberto Andrés Reisancho Puetate, con documento de identificación N° 1722218821, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación intitulado: AMENAZAS, VULNERABILIDADES Y ADAPTACIÓN A INUNDACIONES EN EL MARCO DEL CAMBIO CLIMÁTICO: CASO DE ESTUDIO MACHALA, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Ambiental, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado por la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Roberto Andrés Reisancho Puetate

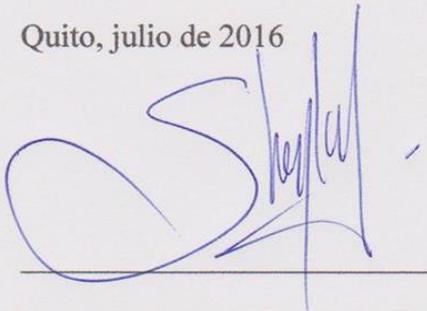
C.I: 172222882-1

Quito, julio de 2016

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTORA

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Trabajo de Titulación, AMENAZAS, VULNERABILIDADES Y ADAPTACIÓN A INUNDACIONES EN EL MARCO DEL CAMBIO CLIMÁTICO: CASO DE ESTUDIO MACHALA realizado por Roberto Andrés Reisancho Puetate, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, julio de 2016



María Sheila Fabiola Serrano Vincenti

C.I: 171026757-4

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a mis padres, quienes a pesar de las diferentes situaciones presentadas a lo largo de mi carrera estudiantil han sabido apoyarme con un consejo, un abrazo y sobre todo sabiendo que puedo contar con ellos sea cual sea la situación que se presente.

A mis hermanos ya que ellos han sido y seguirán siendo quien me apoyen con sus palabras de aliento, con su tiempo, con sus deseos y sobre todo por ejemplo que me han dado.

M. Sc. Sheila Serrano Vincenti por acompañarme en el proceso de titulación más que una guía, como una amiga, por ser una persona excepcional y por brindarme la oportunidad de conocer el campo de la investigación.

M. Sc. Ronnie Lizano Acevedo por ser una gran persona que me supo apoyar en el proceso de titulación con sus consejos y apoyo a lo largo de mi formación profesional.

A los docentes de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Politécnica Salesiana, por sus conocimientos impartidos a lo largo de mi formación académica profesional y por esos consejos que supieron incluir en cada una de sus cátedras.

AGRADECIMIENTO

Quiero manifestar mis sinceros agradecimientos a todas las personas y diferentes instituciones públicas y privadas las cuales me supieron ayudar con información valiosa para poder presentar este trabajo.

Al *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)* por la información relevante sobre la variación de temperatura superficial del mar y por sus diferentes artículos generados los cuales han sido de gran importancia para la elaboración del presente trabajo.

De igual manera a instituciones públicas de la República del Ecuador, por permitirnos utilizar datos de sus estaciones meteorológicas al Instituto Nacional de Meteorológica e Hidrología (INAMHI), al Instituto Geográfico Militar (IGM) por permitir utilizar información de su geo portal para la elaboración de mapas que se presentan en este trabajo, a la Secretaria de Gestión de Riesgo (SNGR) por la información compartida referente a inundaciones presentes en el área de estudio.

Los autores agradecen a la Universidad Politécnica Salesiana y al Instituto Americano de Cambio Global IAI por el financiamiento de esta investigación.

Índice

1	Introducción	1
2	Objetivos	2
2.1	Objetivo general	2
2.2	Objetivos específicos.....	2
3	Marco teórico	3
3.1	Inundaciones.....	3
3.2	Inundaciones de acuerdo a su origen.....	3
3.2.1	Inundaciones pluviales.....	3
3.2.2	Inundaciones fluviales.....	4
3.2.3	Inundaciones costeras.....	4
3.2.4	Inundaciones por falla de infraestructura hidráulica.....	5
3.3	Inundaciones por el tiempo de respuesta de la cuenca	5
3.3.1	Inundaciones lentas	5
3.3.2	Inundaciones súbitas	6
3.4	Inundaciones y cambio climático	6
3.4.1	Índices recomendados para detectar cambio climático	8
3.5	El Fenómeno de El Niño y las precipitaciones intensas.....	9
3.5.1	El índice del Fenómeno de El Niño ONI	10
3.5.2	El Niño en Machala.....	11
3.6	Desastres naturales, amenazas, vulnerabilidades y riesgo: definiciones preliminares.....	12
4	Hipótesis.....	14
5	Ubicación	15
5.1	Ubicación política territorial.....	15
5.2	Ubicación geográfica.....	15
5.3	Condiciones climáticas.....	15
6	Materiales y Métodos.....	16
6.1	Análisis de inundaciones, precipitación e influencia de ENSO	16
6.1.1	Reportes de inundaciones de la SNGR	16
6.1.2	Estaciones meteorológicas utilizadas.....	17
6.1.3	Oceanic Niño Index (ONI) utilizadas.....	18
6.2	Índices de cambio climático utilizados.....	19
7	Resultados y Discusión	20

7.1	Análisis de precipitación, inundaciones e influencia de ENSO	20
7.1.1	Influencia de las lluvias sobre los procesos de inundación.....	20
7.1.2	Influencia de la precipitación por zona de estudio: andina o costera ante los eventos de precipitación.	20
7.1.3	Influencia de ENSO.	24
7.2	Índices de cambio climático estudiados	26
7.2.1	Índices de desertización	26
7.2.2	Índices de lluvia e inundaciones	27
7.2.3	Índices de temperatura.	33
7.2.4	Resumen de resultados	40
7.3	Vulnerabilidad y Adaptación.....	41
7.3.1	Vulnerabilidad.....	41
7.3.2	Adaptación	43
8	Conclusiones	50
9	Recomendaciones	52
10	Referencias.....	53
11	Anexos	56

Índice de tablas

Tabla 1. Descripción de los efectos de cambio climático	7
Tabla 2. Reportes de inundación de la SNGR ocurridos en Machala del 2007 al 2012	16
Tabla 3. Estaciones meteorológicas utilizadas en el estudio.....	17
Tabla 4. Estaciones meteorológicas que se realizó el análisis con R-Climdex.....	19
Tabla 5. Estadísticos principales de las estaciones estudiadas.....	25
Tabla 6. Datos estadísticos relacionados a los días secos consecutivos CDDs	27
Tabla 7. Datos estadísticos relacionados a los días húmedos consecutivos CWD ...	28
Tabla 8. Datos estadísticos relacionados a las Precipitaciones total anual en los días Húmedos PRCPTOT	30
Tabla 9. Significancia estadística para precipitación intensa R10	31
Tabla 10. Significancia estadística para precipitación máxima para uno día RX1day y cinco días RX5day.	33
Tabla 11. Significancia estadística para los Días de Verano SU25	34
Tabla 12. Significancia estadística para los valores mínimos de temperatura mínima diaria TNn	35
Tabla 13. Significancia estadística para Noches tropicales TR20	36
Tabla 14. Significancia estadística para los Días Fríos TX10p	37
Tabla 15. Datos estadísticos para los valores mínimos de las temperaturas máximas TXn	38
Tabla 16. Datos estadísticos para las máximas temperaturas máximas Tmax.....	39
Tabla 17. Tabla resumen de significancia estadística.	40

Índice de figuras

Figura 1. Comportamiento del viento y del mar en condiciones normales (izq.) y en presencia de El niño (der.).	10
Figura 2. El Índice Oceánico del Niño (ONI) muestra en rojo las anomalías calientes y en azul las anomalías frías, de temperaturas en la superficie del mar en el Océano Pacífico tropical central.....	11
Figura 3. Elementos para la estimación del riesgo.....	13
Figura 4. Mapa de la zona de estudio.....	15
Figura 5. Ubicación geográfica de estaciones meteorológicas.	18
Figura 6. Eventos de inundación reportados por la SNGR y eventos de precipitación diaria para todas las estaciones estudiadas.....	20
Figura 7. Eventos de precipitación diaria detectados en la estación meteorológica de Pasaje.....	21
Figura 8. Eventos de precipitación diaria detectados en la estación meteorológica de Ushcurrumi.....	21
Figura 9. Eventos de precipitación diaria detectados en la estación meteorológica de Santa Isabel.	22
Figura 10. Eventos de precipitación diaria registrados en la estación meteorológica Girón.	23
Figura 11. Eventos de precipitación diaria registrados en la estación meteorológica Saraguro.	23
Figura 12. Eventos de precipitación diaria registrados en la estación meteorológica Nabon. Fuente: Elaboración propia.....	23
Figura 13: Valores de precipitaciones vs. ONI de las estaciones Granja Santa Inés, Pasaje y Ushcurrumi; pertenecientes a la zona costa del área de estudio.	24

Figura 14. Valores de precipitaciones vs. ONI de las estaciones Girón, Onna, Saraguro, y Nabon; pertenecientes a la zona sierra del área de estudio.....	25
Figura 15. Días secos consecutivos CDDs para las estaciones de Santa Inés (Izq.) y Saraguro (Der.).....	27
Figura 16. Días húmedos consecutivos CWDs para las estaciones de Santa Inés (izq.) y Saraguro (Der.).....	28
Figura 17. Comparación de valores CWD con régimen de precipitación e inundaciones figura (a) Estación Santa Inés y figura (b) estación Saraguro.....	29
Figura 18. Precipitación total anual en los días húmedos PRCPTOT para las estaciones de Santa Inés (izq.) y Saraguro (der).	30
Figura 19. Número de días con precipitación intensa R10 para las estaciones de Santa Inés (izq.) y Saraguro (der.).	31
Figura 20. Cantidad Máxima de precipitación en 1 día RX1day para las estaciones Santa Inés (izq.) y Saraguro (der.).	32
Figura 21 Cantidad Máxima de precipitación en 5 días RX5day para las estaciones Santa Inés (izq.) y Saraguro (der.).	32
Figura 22. Días de Verano SU25, para las estaciones Santa Inés.....	34
Figura 23. Valor mensual mínimo de temperatura mínima diaria TNn para las estaciones Santa Inés.....	35
Figura 24. Noches tropicales TR20 de Santa Inés.	36
Figura 25. Días fríos TX10P para la estación Santa Inés.....	37
Figura 26. Valores mínimos de las temperaturas máximos TXn de Santa Inés.....	38
Figura 27. Valores máximos de las temperaturas máximas TXx de Santa Inés.	39
Figura 28. Mapa de inundaciones de la provincia de El Oro y ubicación estaciones meteorológicas.	41

Figura 29. Inundación reportada el día 2016-01-30 en la ciudad de Machala, sector centro.....	42
Figura 30. Efectos en Puerto Bolívar por efecto de la marea.....	44
Figura 31. Adaptación de las comunidades ante inundaciones.....	44
Figura 32. Personal de Gestión Ambiental de la Municipalidad, así como estudiantes del Liceo 16 de Junio y moradores, realizaron una campaña de limpieza en el estero El Macho para mitigar la contaminación en el sector.	45
Figura 33. Secretaria Nacional de Gestión de Riesgo e Instituciones del Estado.....	46
Figura 34. Embalse del proyecto multipropósito Tahuín.....	48
Figura 35. Multipropósito Tahuín - Áreas de cobertura de Riego.	49

Índice de anexos

Anexo 1. Definición de los Índices R-Climdex	56
--	----

RESUMEN

El presente trabajo busca estimar los riesgos climáticos, amenazas y vulnerabilidades relacionados a inundaciones debido a los efectos del cambio climático y el Fenómeno de El Niño / Oscilación del Sur (ENSO) sobre la ciudad de Machala y sus alrededores. Para el efecto se han estudiado 7 estaciones meteorológicas del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) en los alrededores de la ciudad, dos de las cuales cuentan con datos diarios con series temporales de más de 30 años. Las variables estudiadas, corresponden a datos de precipitación y temperaturas máximas y mínimas analizadas con el programa R-Climdex, conjugadas con los datos de los reportes de inundaciones de la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos SNGR y el Índice del Fenómeno del Niño ONI. Los resultados muestran que Machala es una ciudad en riesgo ante inundaciones en la que los eventos extremos de precipitación están en aumento, tanto en intensidad como en frecuencia, lo cual es congruente con el fenómeno de cambio climático. Además, se encontró que los eventos de inundación están directamente relacionados con la aparición de ENSO. En lo que se refiera a la temperatura, se encontró que tanto los valores extremos de temperaturas máximas y mínimas están en aumento, una evidencia más de que el cambio climático afecta la mencionada ciudad, sumado al efecto isla de calor.

ABSTRACT

This paper seeks to estimate climate risks, threats and vulnerabilities related to flooding produced by the effects of climate change and El Niño Southern Oscillation (ENSO) over the city of Machala and its surroundings.

For this purpose, seven meteorological stations from to Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) that are located around the city, have been studied, two of these stations have daily time series data since more than 30 years. The variables studied correspond to rainfall and maximum and minimum temperatures analyzed with the R-ClimDex program, this data was conjugated with reports of flooding from the Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos SNGR (SNGR) and El Niño Index (ONI).

The results show that Machala is a city with flooding risk, in which extreme precipitation events are increasing in both intensity and frequency. It's consistent with the phenomenon of climate change, in addition it was found that flood events are directly related to the occurrence of ENSO.

As it relates to the temperature, it was found that the extreme values of minimum temperatures are increasing, more evidence that climate change affects that city plus urban heat pland.

1 Introducción

Según la Organización Meteorológica Mundial OMM (2012), un proceso de inundación se refiere al desbordamiento de agua fuera de sus confines normales o a la acumulación de agua que normalmente no se encuentra anegadas, ó en un encharcamiento controlado para riego. Generalmente es ocasionada por la precipitación (lluvia, nieve o granizo), oleaje, marea de tormenta, o falla de alguna estructura hidráulica (CENAPRED, 2009).

En la zona costera de Ecuador, las inundaciones se originan principalmente por precipitaciones (SNGR, 2012), aunque se suma el efecto de las mareas altas e incremento de caudales (generalmente ocasionado por lluvias en las zonas altas); aunque también existen causas antrópicas como: roturas de cañerías u otros problemas de infraestructura.

Generalmente las inundaciones afectan a las comunidades ubicadas en zonas bajas, y con falta de cobertura vegetal, suelos con cobertura asfáltica lo que impide la infiltración de agua en el suelo, la tala de bosques, fallas en obras hidráulicas y la ubicación de centros poblados en las orillas de ríos. Éste es justamente el caso de varias ciudades de la costa ecuatoriana como Guayaquil, Machala y Babahoyo, donde la topografía plana de estas ciudades ocasiona que toda actividad de desagüe sea lenta y poco eficiente (CEPAL-BID, 2000).

En esta investigación se presenta la relación entre las precipitaciones lluviosas intensas y cómo afectan a los procesos de inundación. Por otro lado, cabe indicar que existen dos fuentes naturales que propician las precipitaciones intensas Cambio Climático y el Fenómeno del Niño, también conocido como ENSO (*El Niño-Southern Oscillation*) y que serán abordadas en este estudio.

2 Objetivos

2.1 Objetivo general

Estimar los riesgos climáticos, amenazas y vulnerabilidad relacionados a inundaciones debido a los efectos del cambio climático y el Fenómeno del Niño ENSO sobre la ciudad de Machala y sus alrededores

2.2 Objetivos específicos

1. Determinar los riesgos climáticos ante inundaciones debido a precipitaciones
2. Determinar los riesgos climáticos ante inundaciones debido a Cambio Climático
3. Determinar los riesgos climáticos ante inundaciones debido a ENSO
4. Estimar amenazas y vulnerabilidad presentes en Machala por efecto de inundaciones.

3 Marco teórico

3.1 Inundaciones.

Una inundación es un evento que a causa de la precipitación (lluvia, nieve o granizo), oleaje, marea de tormenta, o falla de alguna estructura hidráulica, provoca un incremento en el nivel de la superficie libre del agua de los ríos o el mar mismo generando invasión o penetración de agua en sitios donde usualmente no la hay y, generalmente, daños en la población, agricultura, ganadería e infraestructura (CENAPRED, 2009).

Como menciona el Centro Nacional de Prevención de Desastres de México (CENAPRED, 2009) actualmente las inundaciones afectan a las comunidades de la parte baja de la cuenca por la falta de cobertura vegetal, suelos con cobertura asfáltica lo que impide la infiltración de agua en el suelo, la tala de bosques, fallas en obras hidráulicas y como causa principal la ubicación de centros poblados en las orillas de ríos.

3.2 Inundaciones de acuerdo a su origen.

De acuerdo con su origen tenemos las principales tipos de inundaciones:

3.2.1 Inundaciones pluviales.

Las inundaciones pluviales se presentan como consecuencia de la precipitación y a causa de la saturación del suelo, el agua de lluvia excedente empieza a acumularse en eventos lluviosos que pueden estar presentes en el are durante horas o días. Estas lluvias deben evaporarse y que el área donde se produjo la inundación pueda recuperar su capacidad de infiltración. La peculiaridad de este tipo de inundaciones es que el agua acumulada es agua que se ha precipitado sobre la zona y no son aquellas que se

desplazan de un lugar a otro es decir por ejemplo de la parte alta de la cuenca u otros lados cercanos al lugar de inundación (CENAPRED, 2009).

Los mecanismos por los cuales se pueden presentar las precipitaciones a causa del vapor de agua son los siguientes:

1. Ciclones tropicales.
2. Lluvias orográficas.
3. Lluvias invernales (frentes fríos).
4. Lluvias convectivas.
5. ENSO.
6. Cambio Climático.

3.2.2 Inundaciones fluviales

Se forman como consecuencia del desbordamiento del agua de los ríos la cual queda sobre la superficie de terreno cercano a sus riveras. La característica principal de este tipo de inundaciones es que el agua presente corresponde a las precipitaciones en cualquier parte de la cuenca y solo de la lluvia que cae sobre la zona afectada. En este tipo de inundaciones se debe tener en cuenta el incremento de los caudales de los ríos y el área de aportación a lo largo de la cuenca ya que los ríos con mayor longitud o que desembocan en planicies costeras pueden presentar una inundación fluvial muy considerable (CENAPRED, 2009).

3.2.3 Inundaciones costeras

Las inundaciones costeras se producen por que el nivel medio del mar asciende debido a la marea alta lo que produce que el agua cubra grandes áreas de terreno. Estas se presentan debido a diferentes factores pero la más común son los vientos y aguajes (CENAPRED, 2009) .

3.2.4 Inundaciones por falla de infraestructura hidráulica

Las inundaciones causadas por este tipo de falla pueden ser más caóticas que las ocasionadas por eventos naturales, se producen cuando la capacidad de las obras destinadas para la prevención de desastres es insuficiente, la inundación causada por este tipo de infraestructura será mayor que si no existiera esta estructura. La falla de estas estructuras puede provocar grandes daños en poco tiempo, además del daño agravado de la propia estructura lo que ocasionaría que el agua almacenada se descargue de una manera drástica y con considerable fuerzas de arrastre (CENAPRED, 2009).

Las causas para que se puedan presentar fallas corresponden a diferentes factores como:

1. Diseño escaso
2. Mala operación
3. Falta de mantenimiento o término de la vida útil de la obra

3.3 Inundaciones por el tiempo de respuesta de la cuenca

En esta clasificación se toma en cuenta las características fisiográficas, por lo cual se han dividido en dos grupos:

3.3.1 Inundaciones lentas

Estas tienen la capacidad de saturar un terreno relativamente plano, lo que significa que el suelo ya no puede absorber más agua lluvia consecuencia de esto el agua escurre por los ríos y los arroyos o sobre todo el terreno. Si el volumen de agua excede la capacidad de estos se producen los desbordamientos ocasionando inundaciones en las partes aledañas las cuales pueden permanecer horas o días sobre el terreno inundado (CENAPRED, 2009).

3.3.2 Inundaciones súbitas

Este tipo de inundaciones suelen estar presentes como resultado de lluvias repentinas e intensas en áreas específicas, el resultado de estos eventos puede ocasionar que pequeñas corrientes se transformen en un corto periodo de tiempo en peligrosos torrentes los cuales pueden causar grandes daños. Este tipo de inundaciones son más comunes en terrenos con grande pendiente y zonas urbanas, como consecuencia de la reducción de espacios verdes lo que provoca que el agua precipitada no pueda infiltrarse en el suelo provocando que del volumen precipitado se convierta en escurrimiento (CENAPRED, 2009) .

La diferencia entre las inundaciones lentas y súbitas es el tiempo en que tardan en presentarse los efectos desde la precipitación hasta el escurrimiento.

3.4 Inundaciones y cambio climático

Según el Panel Intergubernamental de Expertos frente al Cambio Climático (IPCC, 1996), el Cambio Climático ocasiona un incremento en frecuencia e intensidad de eventos extremos tanto de precipitación (inundaciones, deslizamientos, huracanes y ciclones), como de temperatura (olas de frío y calor), tal como se muestra en la Tabla 1.

Al parecer, el incremento de temperatura generalizado debido a la acumulación de gases de efecto invernadero hace que exista más vapor de agua disponible en la atmósfera, al ser éste el combustible de las precipitaciones y tormentas, existe más posibilidad de que su acumulación se libere abruptamente a través de eventos extremos de precipitaciones (Serrano Vinenti, Vásquez, Jácome, & Basile, 2014). De esta manera, se evidencia que el cambio climático actúa como una especie de “disparador

de eventos extremos” sobre todo de lluvia, que son la principal causa de las inundaciones reportadas y el objetivo de este estudio.

Tabla 1.
Descripción de los efectos de cambio climático

Fuente	Institución	Descripción
Análisis estadístico con F-Climdex para Ecuador informe final (Muñoz, y otros, 2010)	INAMHI-MAE	Se espera que el aumento de temperatura, sequías e inundaciones recurrentes, derretimiento de glaciares y una intensificación y variación de los patrones de precipitación
The Rising Cost of Natural Hazards (Riebeek, 2005)	NASA EARTH OBSERVATORY	El cambio climático puede provocar un aumento en la frecuencia y/o intensidad de eventos climáticos extremos como son las sequías severas y precipitaciones intensas
Climate Change 1995 The Science of Climate Change (IPCC, 1996).	IPCC	El calentamiento acelera el secado de la superficie del suelo y se incrementa la posibilidad y severidad de las sequías, afectando con ello a las fuentes de agua y creando condiciones propicias para incendios forestales

Cambio climático: impactos regionales (UCAR, 2012)	University	Los cambios de ecosistemas
	Corporation for	marinos afectaran a la industria
	Atmospheric	pesquera comercial, olas de calor
	Research (UCAR)	que afectarán a la salud pública, aumento en la erosión costera y pérdida de litorales debido al aumento en el nivel del mar, disminución de las fuentes de agua dulce

Nota: Descripción de cambio climático tomado de diferentes instituciones. Elaborado por: A. Reisancho.

En cuanto al manejo de los datos, debido a que se estudian eventos extremos que están localizados en lapsos cortos de tiempo (horas o minutos) y de espacio (decenas de kilómetros cuadrados), se requieren datos diarios ya que al obtener información con menor resolución, se perdería la verdadera magnitud y ubicación temporal del fenómeno.

3.4.1 Índices recomendados para detectar cambio climático

Para detectar cambio climático uno de los escenarios recomendados y utilizados por el IPCC son precipitación y temperatura.

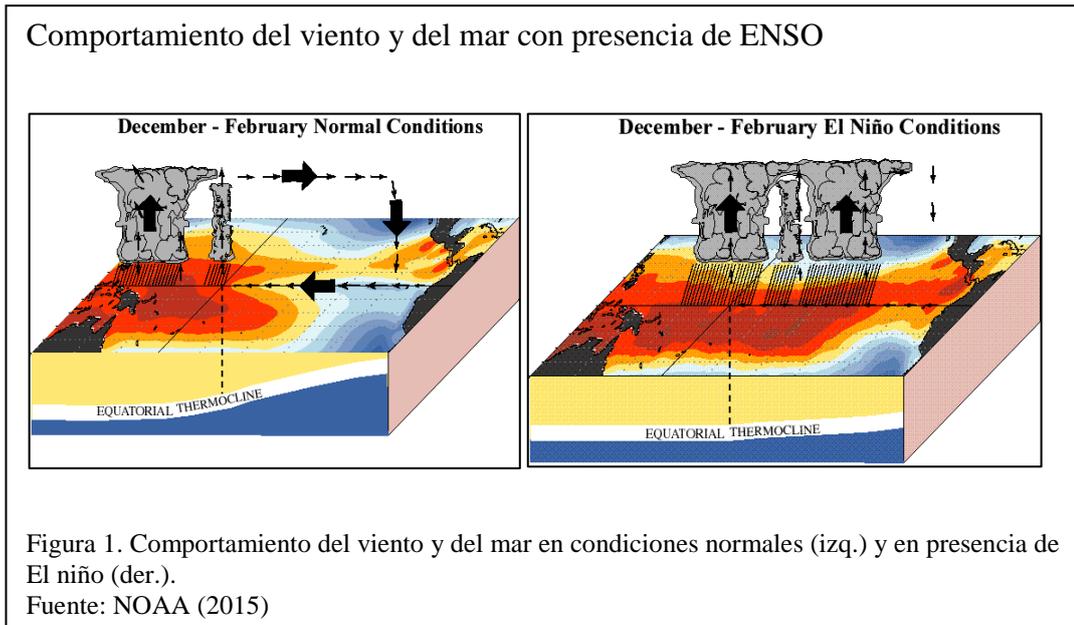
A continuación se incluyen definiciones para los indicadores utilizados y recomendados por el IPCC (Anexo 1). Los cuáles por razones prácticas del software, no todos los índices son calculados en una base mensual sino anual. Los índices mensuales son calculados si en un mes no hay un excedente que sobrepase 3 días faltantes, mientras que los valores anuales son calculados si en un año no hay más de 15 días faltantes (Zhang & Yang, 2004). No se calculará un valor anual si cualquier mes de datos está faltando. Para índices que incluyen un umbral determinado, este

valor umbral será calculado si existe como mínimo el 70% de los datos están existentes, en el caso de los indicadores relacionados a la duración de temporada (marcados con un *), una temporada puede continuar en el año siguiente y se la cuenta en el año en que la temporada termina (Santos, 2004).

3.5 El Fenómeno de El Niño y las precipitaciones intensas

El Fenómeno de El Niño o ENSO (por sus siglas en inglés, *El Niño Southern Oscillation*) ha sido monitoreado desde tiempos remotos, lleva este nombre ya que sus efectos por lo general comienzan a manifestarse en las festividades de Navidad. En 1923, Sir Gilbert Thomas Walker describió por primera vez la circulación a gran escala que bautizó como ENSO (NOAA, 2015).

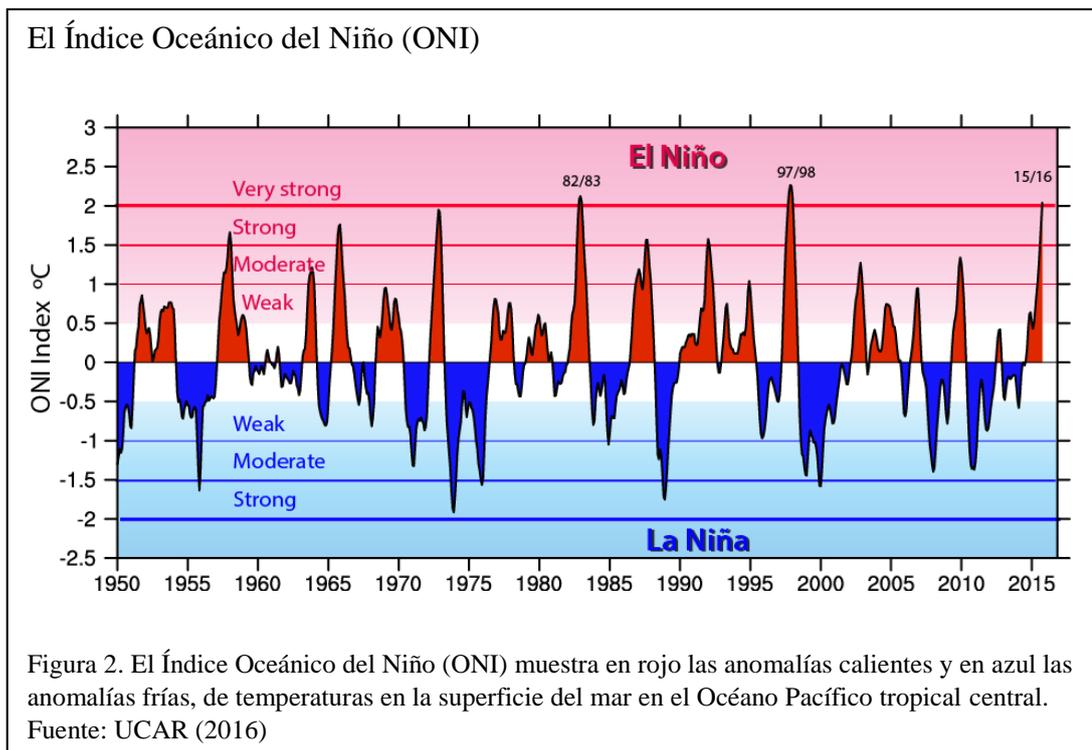
El término El Niño, se refiere al fenómeno océano atmosférico climático a gran escala vinculado a los cambios periódicos en los patrones de viento, y a un calentamiento cuasi-periódico de las temperaturas de la superficie marina localizada en el Océano Pacífico central (conocida como zona 3.4). El niño representa la fase de calentamiento el mismo que se refiere como un episodio cálido del Pacífico (Ver Figura 1). Al existir una pequeña variación de temperatura de + 0,5°C grados en la temperatura superficial del mar en la zona 3.4, sobre una media móvil trimestral. La gran cantidad de vapor disponible por el incremento de temperatura, genera las condiciones propicias para un incremento de precipitaciones en las costas de América, especialmente en la zona ecuatorial.



Sin embargo, cabe indicar, que ENSO comprende también una fase de enfriamiento de la superficie del mar, conocida como La Niña en la cual se experimenta un descenso en la temperatura de $-0,5^{\circ}\text{C}$ sobre la media móvil. Estas temperaturas bajas, se asocian con un descenso de las precipitaciones, que ocurren inmediatamente después de El Niño, ubicadas en las mismas costas americanas ecuatoriales.

3.5.1 El índice del Fenómeno de El Niño ONI

El *Oceanic Niño Index* (ONI) disponible a través de la web de la NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*), es un indicador de la presencia del Fenómeno del Niño y La Niña. Se calcula tomando como base para el estudio 30 años, calculando así las anomalías de temperatura por períodos sucesivos de 5 años en el registro histórico, los mismos que se toman como datos base para calcular la desviación de la media móvil que es recalculada cada tres meses. El cálculo de estas desviaciones medias permite clasificar los eventos de El Niño (cuando las anomalías de temperatura superan los $+0.5^{\circ}\text{C}$) o de La Niña (cuando las anomalías están por debajo de los -0.5°C) (NOAA, 2015), como se muestra en la Figura 2.



3.5.2 El Niño en Machala

La presencia del fenómeno El Niño en los años de 1997-1998 fue la más alta registrada desde que se tienen datos siendo de este periodo en el que se ha recopilado mayor cantidad de información; al tener una duración aproximada de 19 meses sus consecuencias fueron bastantes considerables. En relación a la temperatura, el año mencionado se dio un incremento progresivo alcanzando 1°C en la mayoría de estaciones de la costa y 2°C en Machala hasta alcanzar una temperatura máxima en el mes de julio de 4,72°C (CAF, 2000). En cuanto a precipitaciones, los datos tomados del INAMHI para el periodo de enero a diciembre de 1997 y de enero a julio 1998, en los 19 meses de la presencia del Fenómeno de El Niño los valores de la precipitación acumulada representan un 148 % más que la precipitación normal en el periodo de 1964 a 1998, con valores de 2991.90 mm cuando la precipitación acumulada en el

periodo de 1964 a 1998 fue solo de 2020 mm. En otras palabras, en 19 meses llovió más que en 34 años.

Según Subía (2002), se registró una perturbación casi total de las vías de comunicación, incomunicación de poblaciones, aplazamiento de planes y programas que se llevaban a cabo en el sector público y privado. En presencia de El Niño existió pérdida de vidas humanas y hectáreas de sembríos, además de puentes y caminos vecinales, los centros poblados se inundaron afectando en general a los negocios, deteriorando calles y afectando al funcionamiento de los servicios básicos por la presencia excesiva de agua, consecuentemente la propagación de enfermedades como la malaria, paludismo, dengue, afecciones a la piel, etc., causadas por la falta de evacuación del el agua concentrada en los centros poblados.

3.6 Desastres naturales, amenazas, vulnerabilidades y riesgo: definiciones preliminares

Al hablar de fenómenos hidrometeorológicos extremos se debe tener en cuenta que generalmente, se habla de damnificación o catástrofe. Sin embargo es importante aclarar que, aunque los fenómenos naturales tienen una incidencia importante en un desastre natural -sobre todo cuando éstos son extremos- sus impactos tienen que ver también con la vulnerabilidad de la población que es independiente del fenómeno mismo (Landa, Magaña, & Neri, 2008).

El peligro / amenaza, es un evento que tiene probabilidad de ocurrir, este puede ser natural o antrópico, puede ser potencialmente dañino, de magnitud dada, en una zona o localidad conocida, que puede afectar a un centro poblado, infraestructura física, el medio ambiente y salud, etc., (INDECI, 2006). Los eventos extremos se convierten

en un riesgo intolerable cuando existe la posibilidad de afectar a un sector social y al combinarse con una condición de vulnerabilidad (Landa, Magaña, & Neri, 2008).

Por otro lado, la vulnerabilidad, es el grado de debilidad o exposición de un elemento o conjunto de elementos frente a la ocurrencia de un peligro natural o inducido por el hombre y de una magnitud dada. Está estrechamente relacionado con la situación socioeconómica previo al evento ya que mide la susceptibilidad de un elemento (infraestructura, vivienda, actividades productivas, grado de organización, sistema de alerta y desarrollo político – institucional, entre otros), a sufrir daños humanos y materiales (INDECI, 2006).

Finalmente, la estimación del riesgo es el resultado de la probabilidad de ocurrencia que surge de una amenaza y de la vulnerabilidad. Es el conjunto de acciones y procedimientos que se realizan en un determinado centro poblado o área geográfica con el fin de levantar información sobre la identificación de los peligros y estimar las condiciones de vulnerabilidad (INDECI, 2006), ver Figura 3. La estimación del riesgo se la realiza para poder recomendar medidas de prevención las cuales pueden ser de carácter estructural y no estructural, social o político, con el propósito de mitigar o reducir los efectos de los desastres.

Elementos para la estimación del riesgo		
AMENAZA	VULNERABILIDAD	RIESGO
<p>Fenómenos naturales</p> <p>Probabilidad de que ocurra un evento, en espacio y tiempo determinados, con suficiente intensidad como para producir daños</p>	<p>Grados de exposición y fragilidad, valor económico</p> <p>Probabilidad de que, debido a la intensidad del evento y a la fragilidad de los elementos expuestos, ocurran daños en la economía, la vida humana y el ambiente.</p>	<p>$f(A, V)$</p> <p>Probabilidad combinada entre los parámetros anteriores.</p>

Figura 3. Elementos para la estimación del riesgo.
Fuente: (CEPAL-BID, 2000).

4 Hipótesis

Los riesgos climáticos, amenazas y vulnerabilidad relacionados a inundaciones podrían deberse a los efectos del cambio climático y el Fenómeno del Niño ENSO sobre la ciudad de Machala y sus alrededores

5 Ubicación

5.1 Ubicación política territorial

Machala Geográficamente se halla situada al suroeste del territorio ecuatoriano y al Noroeste con respecto a la Provincia de El Oro.

Es la capital de la provincia de El Oro, Está situada en las tierras bajas próximas al golfo de Guayaquil, en el océano Pacífico, ocupa una parte del valle entre la cordillera de los andes y el golfo de Guayaquil.

5.2 Ubicación geográfica

El área correspondiente a Machala es de 2400 hectáreas, se encuentra ubicado a una altura de 6 m.s.n.m y sus límites son: Norte cantón Guabo, Sur cantón Santa Rosa, Este cantones Pasaje y Santa Rosa; Oeste Océano Pacífico y Archipiélago de Jambelí (ver Figura 4).

5.3 Condiciones climáticas

El clima de Machala es tropical (sub-húmedo). La temperatura ambiental varía entre los 22 a 35 grados centígrados



6 Materiales y Métodos

6.1 Análisis de inundaciones, precipitación e influencia de ENSO

6.1.1 Reportes de inundaciones de la SNGR

La Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos del Ecuador SNGR ha generado un reporte de inundaciones disponible desde el año 2007 hasta el 2012. En este tipo de reporte se indica la fecha en la que se generó la inundación y detalles de las causas de este fenómeno, tal como se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2.
Reportes de inundación de la SNGR ocurridos en Machala del 2007 al 2012

Parroquia	Fecha	Hora	Causas
Machala	05/01/2007	0:00:00	Lluvia pertinaz
El Retiro	08/01/2007	8:00:00	Lluvia
Puerto Bolívar	06/07/2007	5:00:00	Rotura tubería
Machala	29/02/2008	23:00:00	Lluvia intensa y colapso de alcantarillado
Machala	07/03/2008	19:30:00	Lluvia intensa y colapso de alcantarillado
La Providencia	07/03/2008	19:30:00	Fuertes lluvias y desbordamiento de canales
Machala	07/03/2008	19:30:00	Fuerte lluvia y drenaje tapado
La Providencia	07/03/2008	19:30:00	Fuertes lluvias y desbordamiento de canales
Machala Y La Providencia	07/03/2008	19:30:00	Lluvia intensa y colapso de alcantarillado
Machala	07/03/2008	19:30:00	Fuerte lluvia y drenaje tapado
La Providencia	07/03/2008	19:30:00	Fuertes lluvias y desbordamiento de canales
Machala	03/07/2008	19:30:00	Fuerte lluvia y colapso de alcantarilla
La Providencia	03/07/2008	19:30:00	Fuertes lluvias y desbordamiento de canales
Machala	03/07/2008	19:30:00	Fuerte lluvia y drenaje tapado
La Providencia	03/07/2008	19:30:00	Fuertes lluvias y desbordamiento de canales
El Retiro	12/01/2009	2:30:00	Colapso de alcantarillado
El Retiro	12/01/2009	2:30:00	Colapso de alcantarillado
Machala	05/02/2009	17:35:00	Fuertes lluvias y desbordamiento de canales
El Retiro	01/12/2009	2:30:00	Causa no fue de origen meteorológico
Machala	21/01/2011	9:40:00	Lluvia pertinaz
Machala	27/01/2011	5:00:00	Fuerte lluvia
Machala	13/02/2011	10:30:00	Lluvia de mediana intensidad
Nueve De Mayo	19/04/2012	6:00:00	Intensa lluvia
Machala	19/04/2012	6:00:00	Intensa lluvia

Nota: Reportes de inundación de la SNGR ocurridos en Machala los cuales presentan que solo dos de ellos no son causados por eventos meteorológicos. Fuente: SNGR

6.1.2 Estaciones meteorológicas utilizadas

Los datos meteorológicos pertenecen al INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador) y a la Universidad Estatal de Machala UEM (estación Granja Santa Inés) y corresponden a datos diarios de precipitación y temperaturas en los alrededores de Machala con un rango temporal superior a los 30 años, las estaciones disponibles en la zona se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3.
Estaciones meteorológicas utilizadas en el estudio.

Nombre	Código	Latitud	Longitud	Altura (M.S.N.M)	Período
Pasaje	M0040	3G 19' 19" S	79G 46' 8" W	40	1980-2013
Ushcurrumi	M0481	3G 19' 16" S	79G 35' 0" W	290	1980-2013
Sta. Isabel INAMHI	M0032	3G 14' 51" S	79G 16' 36" W	1450	1980-2013
Giron	M0419	3G 9' 14" S	79G 8' 58" W	2130	1980-2013
Saraguro	M0142	3G 36' 43" S	79G 14' 2" W	2525	1980-2013
Nabon INAMHI	M0420	3G 20' 2" S	79G 3' 58" W	2750	1980-2013
Granja Sta. Inés		03° 17' 16" S	79° 54' 05" W	14	1980-2013

Nota: Coordenadas de las estaciones meteorológicas utilizadas para el estudio realizado en la cual se visualiza que no todas ellas están en la región costa. Elaborado por: A. Reisancho

De entrevistas y reuniones con los grupos focales, se ha mencionado el saber vernáculo de la zona el dicho de que “cuando llueve en Cuenca, se inunda Machala”, es decir que las lluvias que ocurren en la zona andina aledaña, cercana a la ciudad de Cuenca, afectan finalmente a los procesos de inundación en la zona costera de Machala, y es por esto que se incluyen en el estudio estaciones meteorológicas que están alejadas de la ciudad, tal como se aprecia en la Figura 5.

Es así, como en la Tabla 3, se puede apreciar que, a pesar de que Machala está a nivel del mar, cuatro de las siete estaciones meteorológicas estudiadas se encuentran en la

zona andina, con una altitud superior a los 2000 msnm. La estación de Santa Isabel, del INAMHI, está en una zona subtropical a 1450 msnm, mientras que en la zona costera, se tienen dos estaciones: Pasaje y Ushcurrumi, mismas que serán las más representativas de Machala. Los datos de la estación de ONNA no se utilizaron por ser insuficientes.

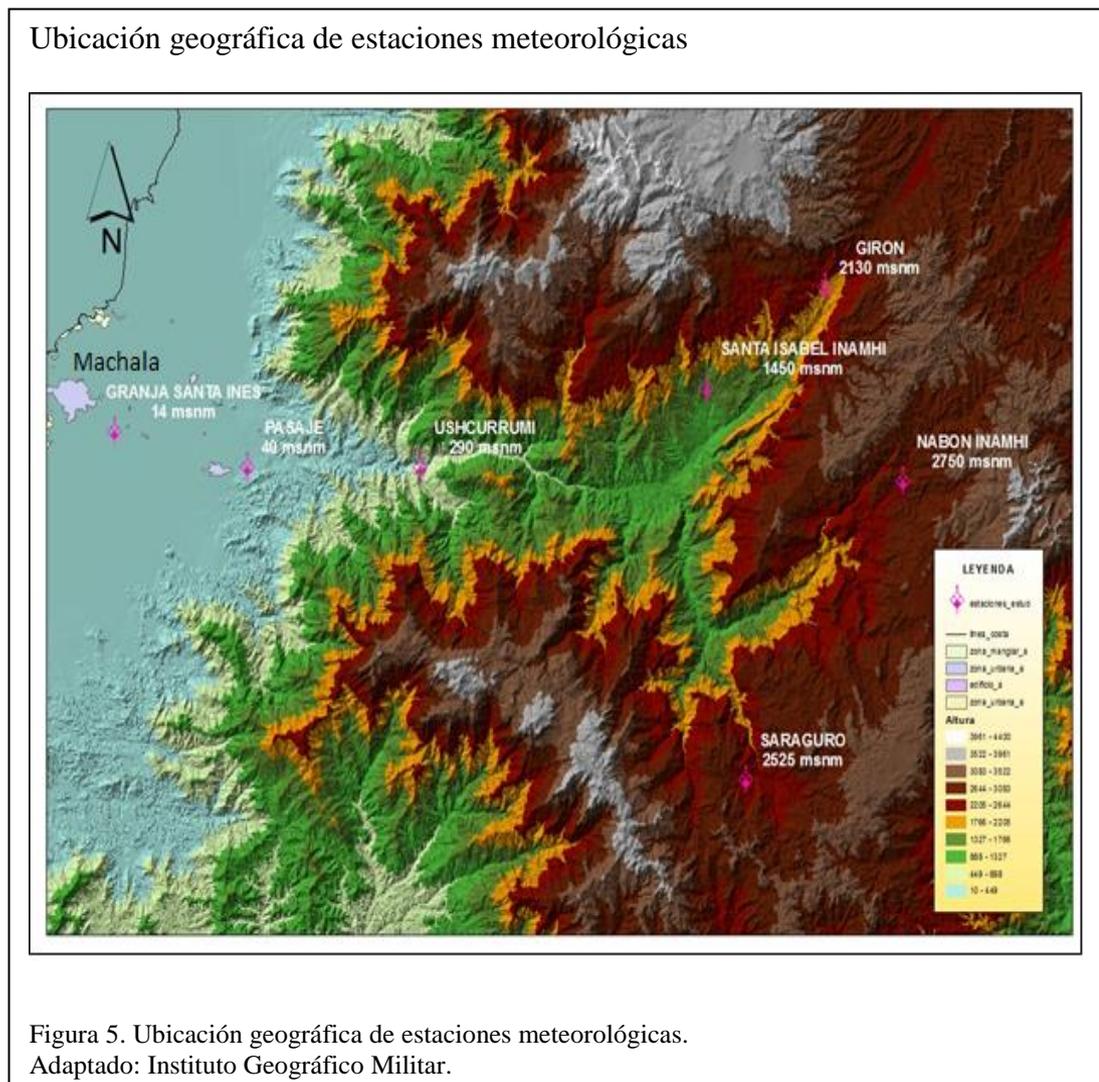


Figura 5. Ubicación geográfica de estaciones meteorológicas.
Adaptado: Instituto Geográfico Militar.

6.1.3 Oceanic Niño Index (ONI) utilizadas.

De la misma manera, se utilizó el Oceanic Niño Index (ONI) a través de la web de la NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) disponible en el siguiente link:

http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears_1971-2000_climo.shtml) que registra las anomalías en la temperatura superficial del Océano Pacífico, y que se convierte en un referente de la aparición del Fenómeno del Niño o La niña.

6.2 Índices de cambio climático utilizados.

Se estudian los índices de cambio climático recomendados por el IPCC (1996) presentados en el Anexo 1, los cuales requieren datos tanto de temperatura como de precipitación. Las dos únicas estaciones que contaban con estos datos diarios fueron Saraguro (INAMHI) y Santa Inés (UEM) como se muestra en la Tabla 4, y para obtener los indicadores de temperatura sólo se pudo utilizar los datos de la estación de Santa Inés ya que Saraguro tenía demasiados datos incompletos en esta variable. El análisis se llevó a cabo con la herramienta computacional R-Climdex, (en lenguaje R), desarrollado por Byron Gleason del National Climate Data Center (NCDC) de la NOAA y ha sido recomendado por el ECTCCDI del IPCC desde el 2001. Este es un programa de código abierto que no depende de un sistema operativo determinado y es un paquete computacional para índices de extremos climáticos (Serrano, Zuleta, Jacome, Palacios, & Marcos, 2012).

Tabla 4.
Estaciones meteorológicas que se realizó el análisis con R-Climdex.

Estaciones	Código Estación	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Desde	Hasta	Rango Temporal [años]
Hacienda Santa Inés	-	03° 17' 16" S	79° 54' 05" W	8	1986	2013	30
Saraguro	M0142	3G 36' 43" S	79G 14' 2" W	2525	1986	2013	30

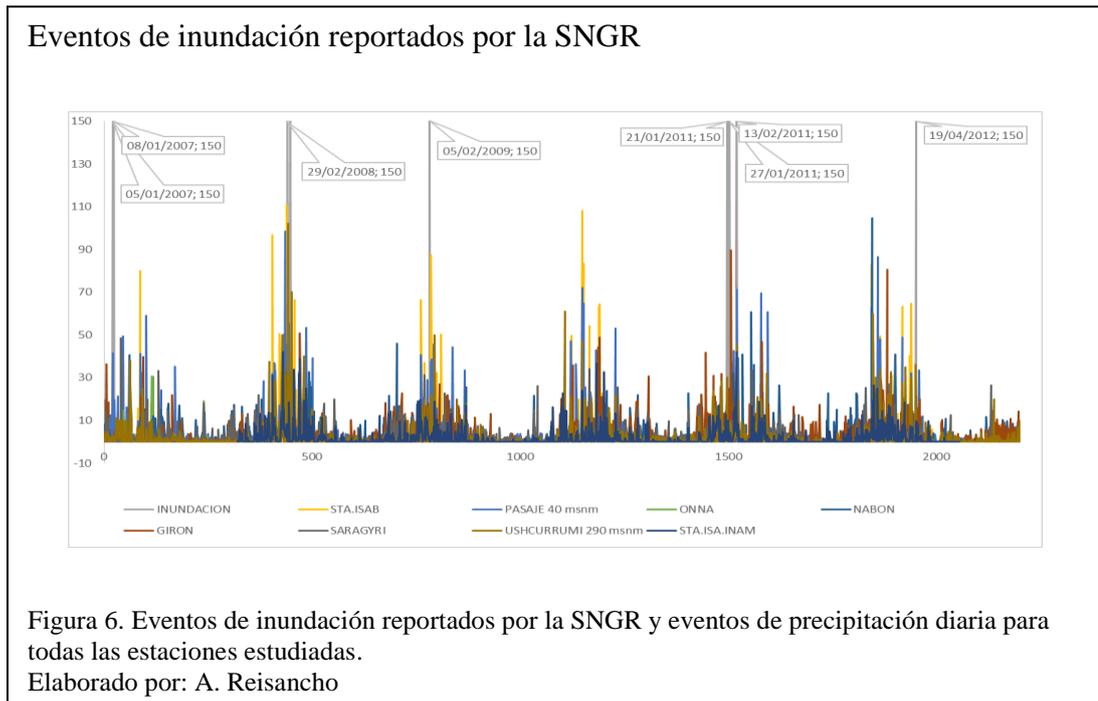
Nota: Estaciones meteorológicas utilizadas por contar con datos de precipitación y temperatura.
Elaborado por: A. Reisancho

7 Resultados y Discusión

7.1 Análisis de precipitación, inundaciones e influencia de ENSO

7.1.1 Influencia de las lluvias sobre los procesos de inundación.

Al analizar la cantidad de lluvia que se ha generado en cada estación meteorológica incluyendo los procesos de inundación se obtiene la siguiente figura (Ver Figura 6).

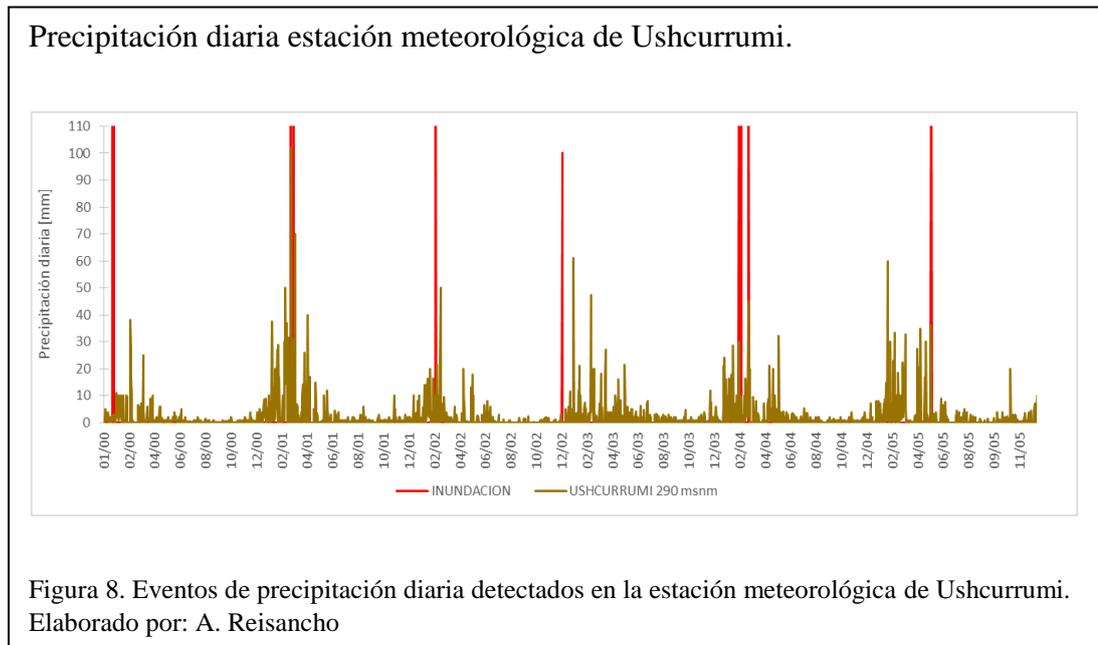
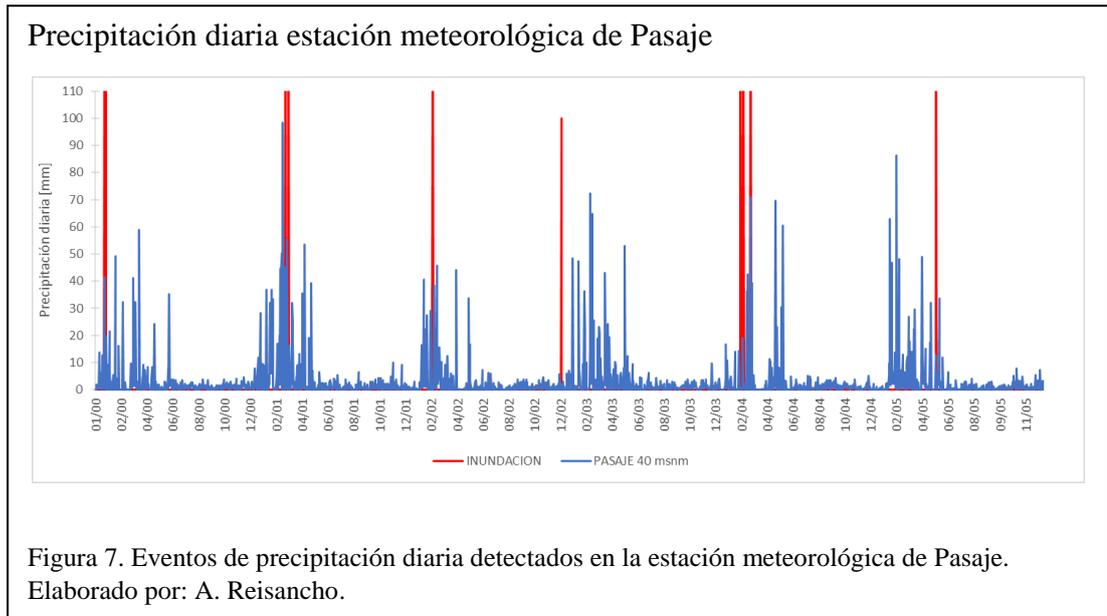


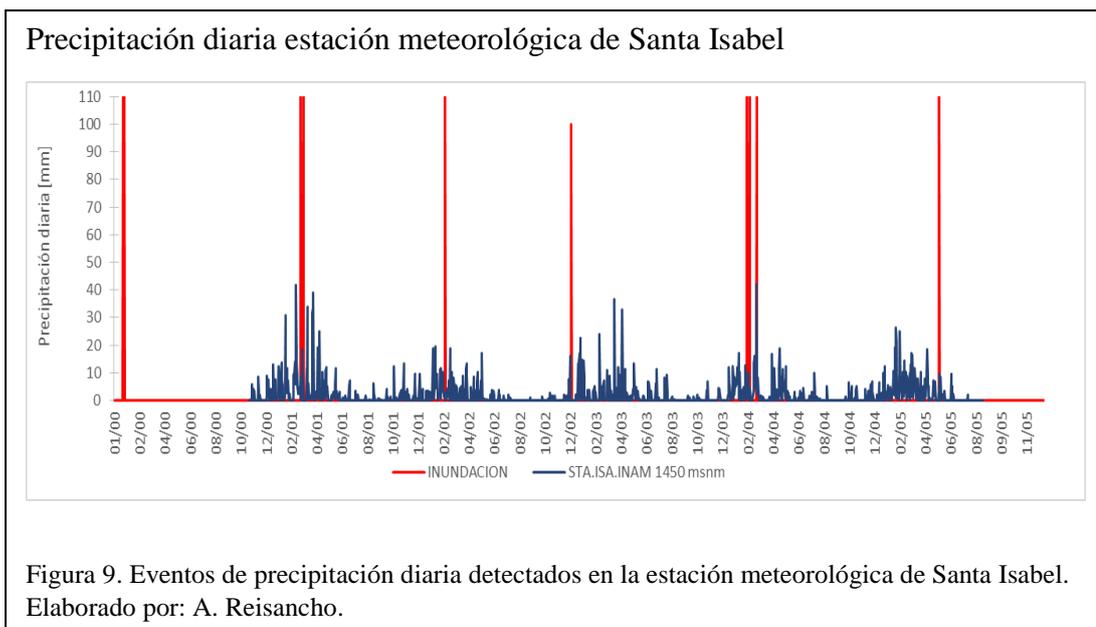
En la Figura 6, se aprecia la gran influencia de los eventos extremos de precipitación sobre los procesos de inundaciones. Mismos que se dan periódicamente, alrededor de 300 y 400 días, es decir que prácticamente las inundaciones se dan de manera anual, de preferencia en los meses de enero, febrero, con ligeros desfases hacia diciembre y marzo, y escasamente, abril.

7.1.2 Influencia de la precipitación por zona de estudio: andina o costera ante los eventos de precipitación.

Con el objetivo de determinar la influencia de la lluvia proveniente ya sea de la zona costera o andina frente a los procesos de inundación, se ha analizado por separado

aquellas precipitaciones correspondientes a las estaciones de la costa: Pasaje, ubicado a 40 msnm, la cual es la estación más cercana a la ciudad de Machala, seguida por Ushcurrumi a 290 msnm, y finalmente la más alejada Santa Isabel (INAMHI) a 1450 msnm. Los resultados se muestran en las Figura 7, 8 y 9.





En las Figura 7 y 8 se aprecia que la densidad lluviosa de las estuaciones de Pasaje y Ushcurrumi es superior a la de Santa Isabel (donde también existen menos datos disponibles para el análisis), en este aspecto, se puede decir que la lluvia en la estación de Santa Isabel está menos correlacionada a la lluvia de las zonas más costeras de Pasaje y Ushcurrumi. Asimismo, se puede ver una correspondencia mucho más marcada en las estaciones bajas con los en la ocurrencia temporal de los eventos de precipitación que la encontrada en la estación de Santa Isabel, como era de esperarse por la cercanía entre las estaciones y pertenencia a la misma zona climática.

En cuanto a las estaciones de la Sierra, ubicadas a más de 2000 msnm se aprecia que la correspondencia temporal entre los eventos extremos de lluvia e inundaciones en la ciudad de Machala disminuye, en función de la distancia a la ciudad. Este hecho es interesante ya que de alguna manera desmiente el dicho de que las lluvias en las zonas altas afectan los procesos de inundación de las zonas bajas. Tal como se muestra en las Figura 10, 11 y 12.

Precipitación diaria estación meteorológica Girón

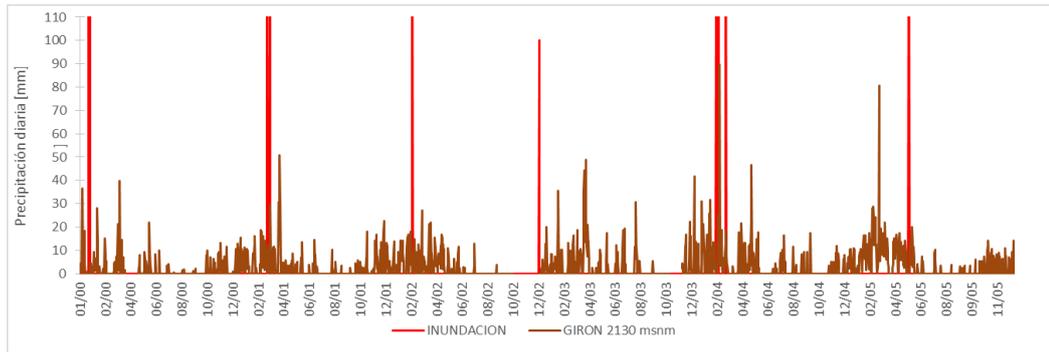


Figura 10. Eventos de precipitación diaria registrados en la estación meteorológica Girón.
Elaborado por: A. Reisancho.

Precipitación diaria estación meteorológica Saraguro

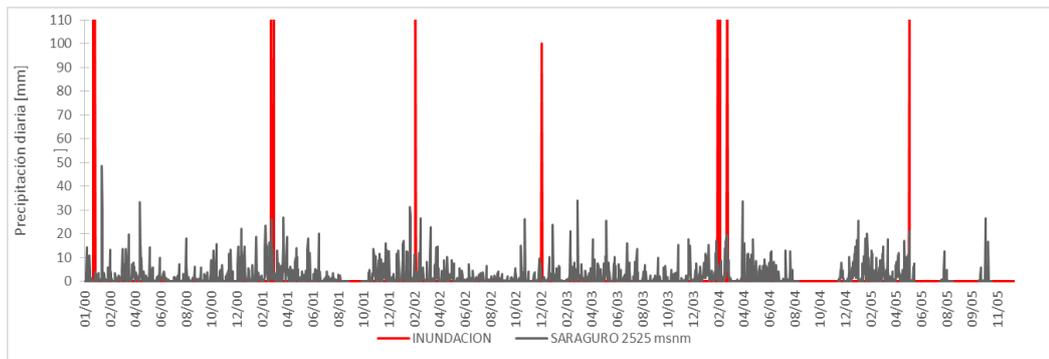


Figura 11. Eventos de precipitación diaria registrados en la estación meteorológica Saraguro.
Elaborado por: A. Reisancho.

Precipitación diaria estación meteorológica Nabon

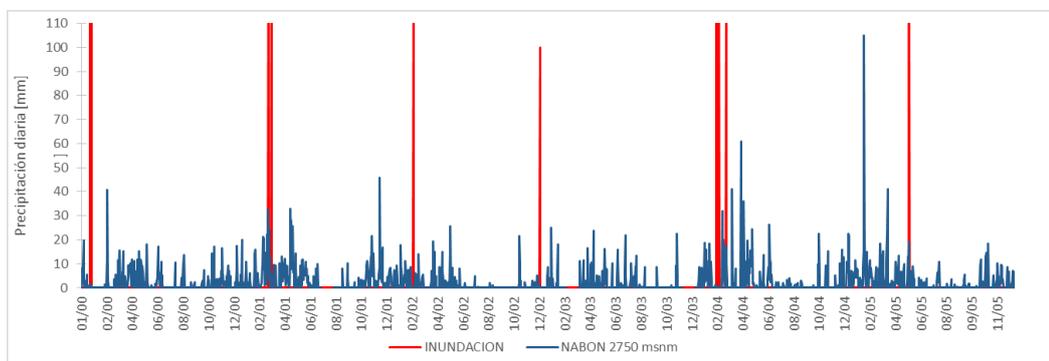


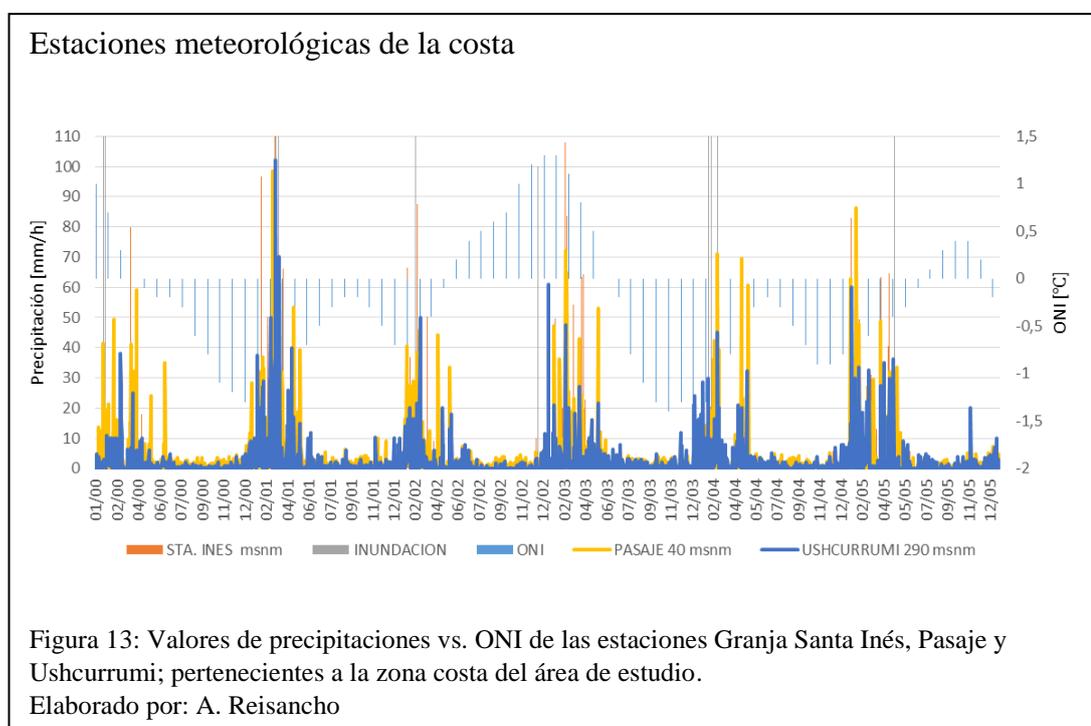
Figura 12. Eventos de precipitación diaria registrados en la estación meteorológica Nabon.
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 12, nótese la pérdida de correspondencia entre los eventos de lluvias extremas e inundaciones respecto a los de las estaciones más bajas de Pasaje y Ushcurrumi.

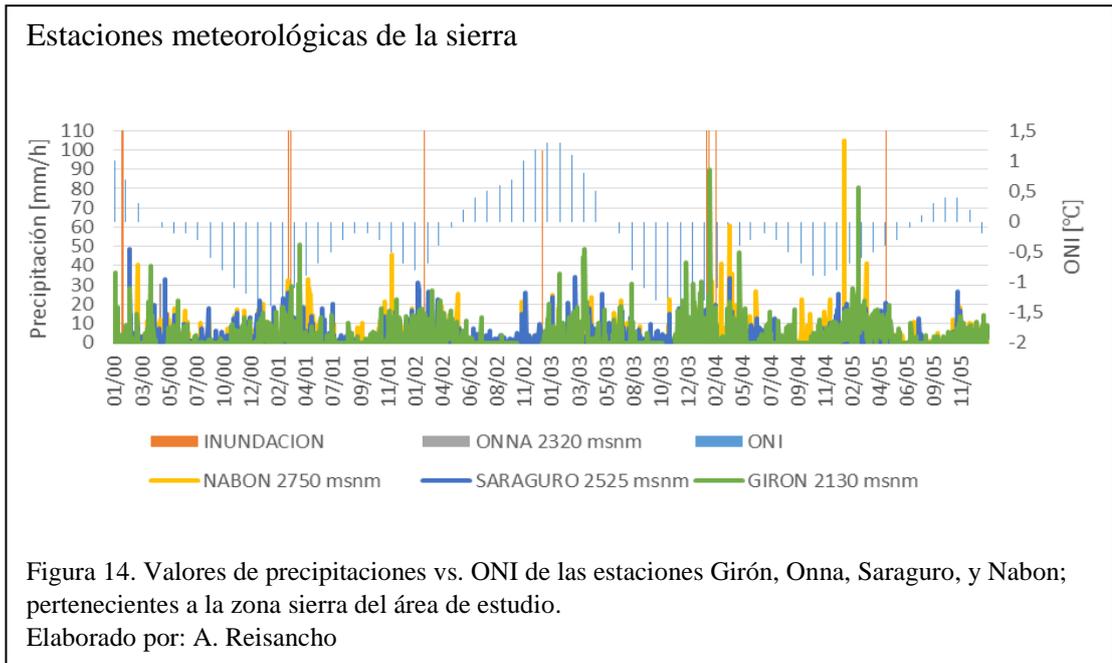
Además, es evidente el hecho de que en la región Sierra, las lluvias son menores.

7.1.3 Influencia de ENSO.

En la Figura 13, que se muestra a continuación, se logra visualizar la relación que existe entre los datos de precipitación de las estaciones meteorológicas ubicados en la región costa, el ONI conjuntamente con los datos recopilados de inundación.



A continuación observamos la relación existente entre las estaciones de la región Sierra con los datos tomados de la NOAA en referencia a ONI con la presencia del fenómeno de El Niño o la Niña. (Ver Figura 14).



Es claro que las Figura 13 y 14 muestran una correspondencia entre los procesos de inundación y la presencia de ENSO. Lo interesante es que no solo se da en presencia de El Niño, sino también de La Niña.

De la misma manera, las diferencias climáticas entre las estaciones se presentan al analizar el número de días lluviosos, máximos y mínimos presentados así como los correspondientes percentiles, tal como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5.
Estadísticos principales de las estaciones estudiadas.

Percentiles	Pasaje 40 Msnm	Ushcurrumi 290 Msnm	Sta.Isabel 1450 Msnm	Giron 2130 Msnm	Saraguro 2525 Msnm	Nabon 2750 Msnm
P90 [mm]	5,1	5,2	6,1	10,6	7,28	8,13
P95 [mm]	11,6	10	10,2	14,2	11,89	11,815
P99 [mm]	44,164	30	19,13	25,992	20,98	22,6
Máx [mm]	98,4	102	42	89,6	48,6	104,8
% Días lluvia	68%	49%	45%	39%	57%	40%

Nota: Valores porcentuales de las estaciones utilizadas para el estudio. Elaborado por: A. Reisancho.

En la Tabla 5, se aprecia que el porcentaje de días lluviosos e intensidad de lluvias intensas mientras se aproxime a la Costa, y después desciende, hasta que al cambiar de zona climática desciende moderadamente. Así como ocurre con los valores máximos detectados en cada estación. Es evidente tanto de la Tabla 5, como de la Figura 13 y 14 los procesos lluviosos son más intensos en la costa.

7.2 Índices de cambio climático estudiados

Debido a la localización del estudio, de los índices presentados en el Anexo 1 solo se presentan los que corresponden a la zona tropical, y se excluyeron todas las que involucran la presencia de temperatura bajo cero.

7.2.1 Índices de desertización

En la Figura 15, se presenta el índice más representativo para desertización, el Número de Días Secos Consecutivos (CDD por sus siglas en inglés *Consecutive Dry Days*), tanto para la estación que se encuentra a nivel del mar, Santa Inés (8 msnm), como en la estación de Saraguro. Lo primero que se aprecia es la aparición de regímenes opuestos. Además, en ambas estaciones, se aprecia una inversión en la tendencia alrededor de los años 2000 a 2005. En Santa Inés, se aprecia que los años con el mayor número de CDD fueron 1988, que registró un máximo de 80 CDDs, 2005, con 66 CDDs y 2012 con 65 CDDs. A pesar de que la tendencia general es negativa e igual a -0.514 [días/año] como se muestra en la Tabla 6, lo cual implicaría una reducción en riesgos de desertización e incendios en la región costera de Machala.

Por otro lado, en Saraguro, el número de CDDs se encuentra en aumento. Aunque cabe indicar que al encontrarse en la Sierra (2525 msnm) el régimen de lluvias es diferente, registrando menos CDDs. El valor máximo se logró en el año 2004 con 47 CDDs, valor cercano al registrado en Santa Inés.

Días secos consecutivos CDDs

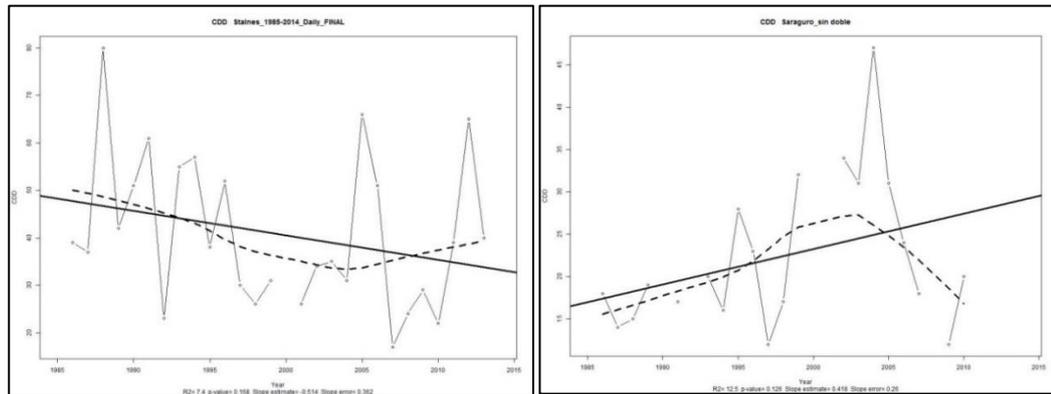


Figura 15. Días secos consecutivos CDDs para las estaciones de Santa Inés (Izq.) y Saraguro (Der.).

Elaborado por: A. Reisancho

Tabla 6.

Datos estadísticos relacionados a los días secos consecutivos CDDs

Días secos consecutivos CDD		
	Estación hacienda Santa Inés	Estación Saraguro
Significancia (valor-p)	0,168*	0,126*
Pendiente [días/año]	-0,514	0,418
Error en la pendiente	0,362	0,26

Nota: CDDs para la estación Santa Inés y Saraguro. El asterisco* indica un valor-p inferior a 0.2.

Elaborado por: A. Reisancho

7.2.2 Índices de lluvia e inundaciones

En la Figura 16, se presenta el Número de Días Húmedos Consecutivos (CWD por sus siglas en inglés *Consecutive Wet Days*). La estación Santa Inés presentó un valor de pendiente poco significativa (valor-p de 0.746), ya que se tienen dos picos, cuyos valores máximos se presentaron en los años 1989 y 2009, ambos con 14 CWDs. Mientras que en la estación Saraguro presenta una pendiente negativa estadísticamente significativa (valor-p de 0.187) e igual a -0,13 [días/año]. Ver Tabla 7. Sus valores máximos fueron en los años 1988 y 1989 que indica la presencia de ENSO con un

valor de 15 CWD. Estas tendencias muestran cómo en la región de la sierra se evidencia no sólo regímenes lluviosos diferentes a los de la costa, sino opuestos.

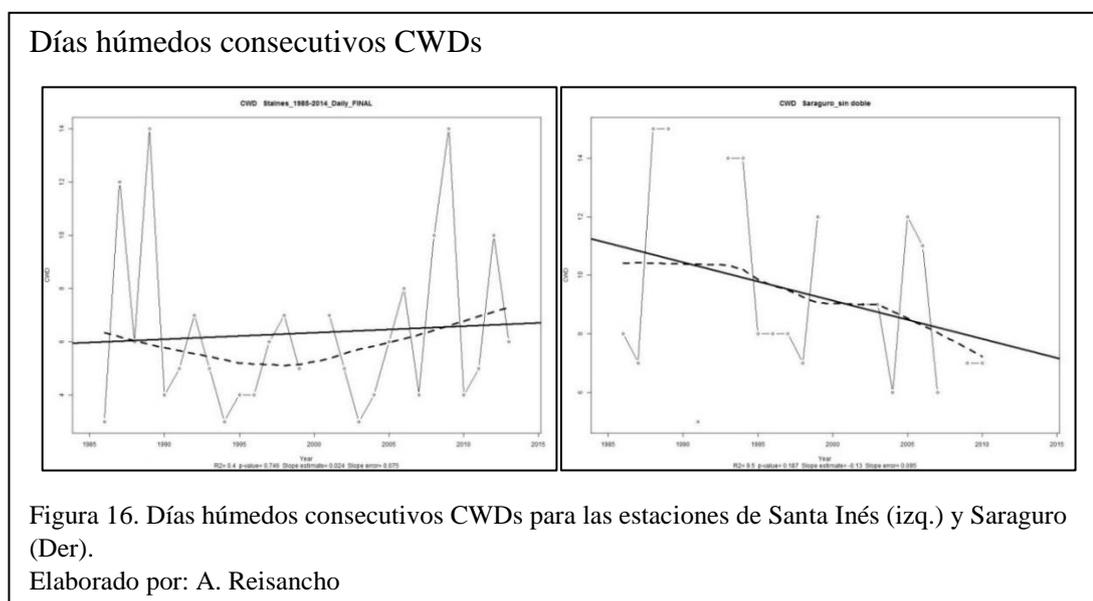


Tabla 7.

Datos estadísticos relacionados a los días húmedos consecutivos CWD

Días húmedos consecutivos CWD		
	Estación hacienda Santa Inés	Estación Saraguro
Significancia (valor-p)	0,746	0,187*
Pendiente [días/año]	0,024	-0,13
Error en la pendiente	0,075	0,095

Nota: CWD para la estación Santa Inés y Saraguro. El asterisco* indica un valor-p inferior a 0.2.
Elaborado por: A. Reisancho

Al comparar los valores de CWD con los regímenes de precipitación e inundaciones (del 2006 al 2012), se aprecia que existe una correspondencia buena entre los valores reportados, para la estación de Santa Isabel, mas no para la estación de Saraguro, probablemente por la insuficiencia de datos en los años estudiados. Como se aprecian en las Figura 17. Sin embargo, se evidencia el hecho que las inundaciones no solo ocurren por registrar lluvias durante varios días consecutivos, si no que pueden deberse a eventos muy fuertes que duren pocas horas o días.

Comparación de valores CWD con régimen de precipitación e inundaciones

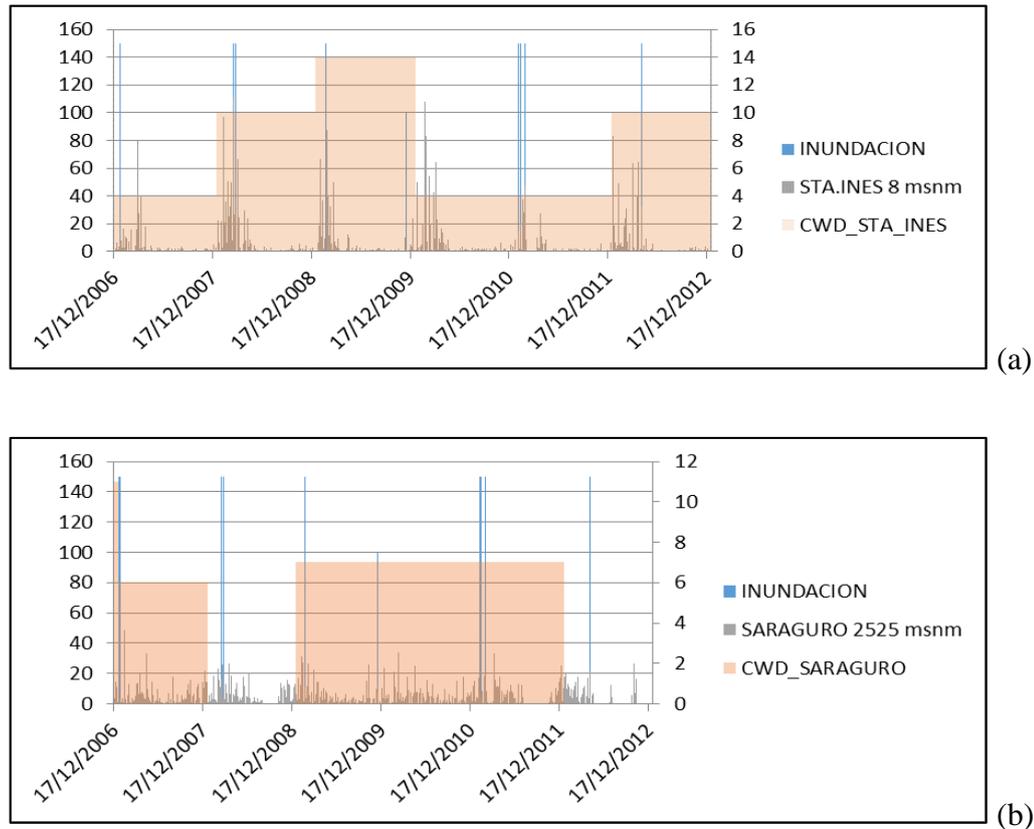


Figura 17. Comparación de valores CWD con régimen de precipitación e inundaciones figura (a) Estación Santa Inés y figura (b) estación Saraguro.
Elaborado por: A. Reisancho

En la Figura 18, se visualiza la Precipitación Total Anual en los Días Húmedos o con Lluvia (PRCPTOT). En la estación Santa Inés presenta una pendiente positiva, pero con una baja significancia estadística (valor $p=0.997$), como se muestra en la Tabla 8, debido a que se presenta un valor extremo de 1816.2 mm/año, el cual se manifestó en el año 1998, que se relaciona directamente con la presencia del Fenómeno del Niño. Por otro lado, la estación Saraguro presenta una pendiente negativa, la estación Saraguro presentó dos valores pico los cuales se registraron en los años de 1993 y 1999 con valores de 1107.6 y 1105.9 mm/año respectivamente. Este último valor es interesante ya que existen reportes de que en casos de ENSO muy intenso la región Sierra también se ve afectada (Campozano, Ballarin, & Celleri, 2014)

Precipitación total anual en los días húmedos PRCPTOT

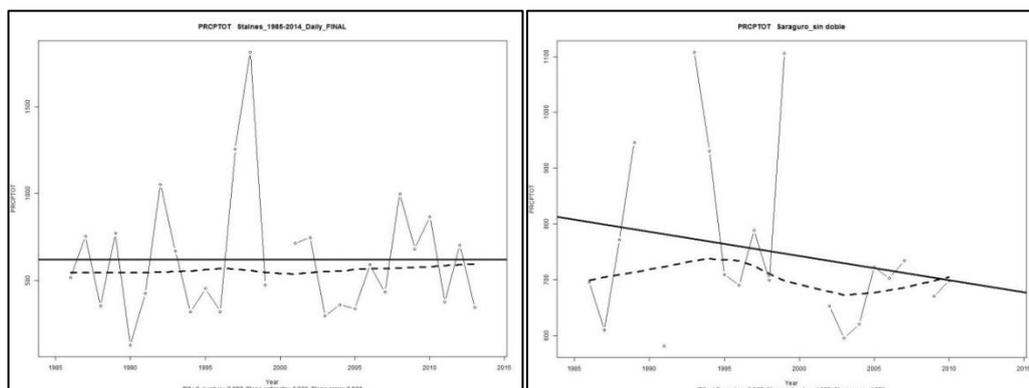


Figura 18. Precipitación total anual en los días húmedos PRCPTOT para las estaciones de Santa Inés (izq.) y Saraguro (der).
Elaborado por: A. Reisancho

Tabla 8.

Datos estadísticos relacionados a las Precipitaciones total anual en los días Húmedos PRCPTOT

Precipitación total anual en los días húmedos PRCPTOT		
	Estación hacienda Santa Inés	Estación Saraguro
Significancia (valor-p)	0,997	0,367
Pendiente [mm/año]	0,036	-4,328
Error en la pendiente	8,533	4,678

Nota: PRCPTOT para la estación Santa Inés y Saraguro. Elaborado por: A. Reisancho

En la Figura 19, se presenta el Número de días con precipitación intensa mayor a 10mm/día (R10 por sus siglas en inglés *Number of heavy precipitation days*). En la estación Santa Inés, se verifica la presencia de 5 a 20 días al año con precipitación intensa. Se tiene una significancia estadística baja (0,547) con un valor pico en el año de 1998 de 49 R10, el cual presenta un total de 49 días en un año que sobrepasan los 10 mm de precipitación (13,4%). En la estación Saraguro se presentaron tres valores altos, en el año 1989 y 1999 con un valor de 33 días y en el año de 1993 con un valor de 37 días con precipitación intensa.

Número de días con precipitación intensa R10

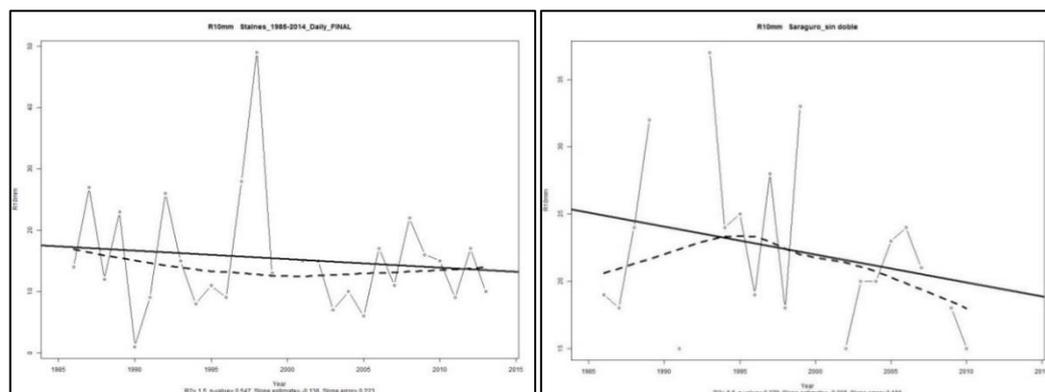


Figura 19. Número de días con precipitación intensa R10 para las estaciones de Santa Inés (izq.) y Saraguro (der.).
Elaborado por: A. Reisancho.

En la Tabla 9, se presenta a continuación la significancia estadística para precipitaciones intensas R10 para las estaciones Santa Inés y para la estación Saraguro.

Tabla 9.
Significancia estadística para precipitación intensa R10

Número de días con precipitación intensa R10		
	Estación hacienda Santa Inés	Estación Saraguro
Significancia (valor-p)	0,547	0,279
Pendiente [días/año]	-0,136	-0,208
Error en la pendiente	0,223	0,186

Nota: R10 para las estaciones de Santa Inés (izq.) y Saraguro (der.). Elaborado por: A. Reisancho

En la Figura 20 y 21, se presentan datos de la cantidad máxima de precipitación en un día RX1day, indicador importante de los eventos de inundaciones; ya que según los reportes de la SNGR, las inundaciones se producen por precipitaciones que difícilmente superan las 24 horas de duración. El valor presentado en las gráficas es el valor máximo de precipitación en un día de un año determinado. Mientras que RX5day, que se refiere a la cantidad máxima de precipitación en cinco días presenta un comportamiento similar, pero con mayor significancia estadística. En la estación

Santa Inés tenemos una tendencia positiva de 0,712 [mm/año] con un valor-p de 0,388, por otro lado la cantidad máxima de precipitación en cinco días RX5day tiene un valor de 0,999 [mm/año] con un valor-p de 0,455; para la estación Saraguro se nota una variación entre los valores de RX1day con una tendencia de -0.098 [mm/año] con un valor-p de 0,799 y el RX5day con un valor de -0,972[mm/año] con un valor-p de 0,105 (ver Tabla 10), lo que nos indica una escasa presencia de días consecutivos de lluvia en la región Sierra, mientras que en la región Costa se muestra una constante presencia de lluvias.

Cantidad Máxima de precipitación en 1 día RX1day

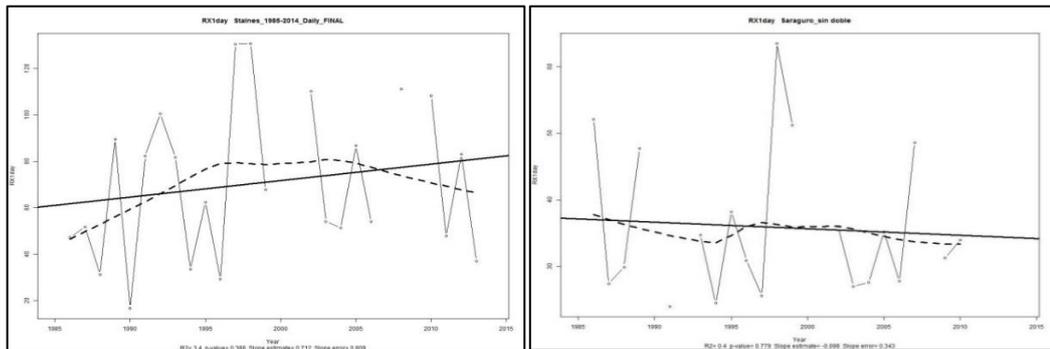


Figura 20. Cantidad Máxima de precipitación en 1 día RX1day para las estaciones Santa Inés (izq.) y Saraguro (der.).

Elaborado por: A. Reisancho.

Cantidad Máxima de precipitación en 5 días RX5day

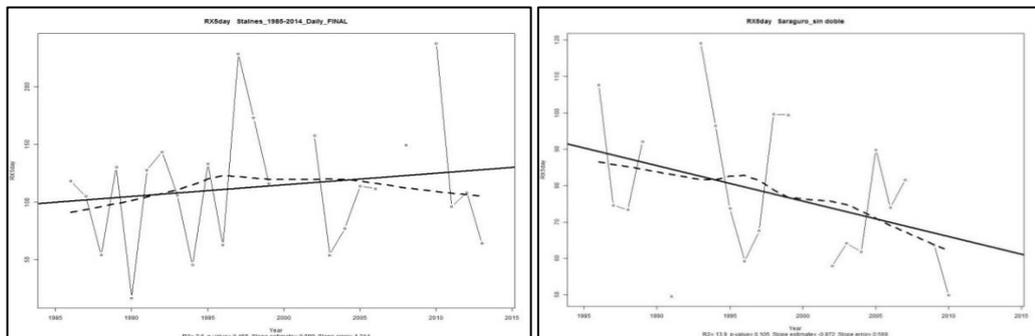


Figura 21 Cantidad Máxima de precipitación en 5 días RX5day para las estaciones Santa Inés (izq.) y Saraguro (der.).

Elaborado por: A. Reisancho.

Tabla 10.
Significancia estadística para precipitación máxima para uno día RX1day y cinco días RX5day.

Cantidad máxima de precipitación en un día RX1day		
	Estación hacienda Santa Inés	Estación Saraguro
Significancia (valor-p)	0,388	0,779
Pendiente [mm/año]	0,712	-0,098
Error en la pendiente	0,809	0,343
Cantidad máxima de precipitación en cinco días RX5day		
Significancia (valor-p)	0,455	0,105*
Pendiente	0,999	-0,972
Error en la pendiente	1,314	0,569

Nota: RX1day y RX5day para estación Santa Inés y estación Saraguro. El asterisco* indica un valor-p inferior a 0,2. Elaborador por: A. Reisancho.

7.2.3 Índices de temperatura.

En estos indicadores, debido a la falta de datos de temperatura en la estación de Saraguro, sólo se analizarán los indicadores de la estación de Santa Inés, representativa de la ciudad de Machala.

En la Figura 22, se presentan los días de verano al año que se refieren a aquellos en los que la temperatura es superior a los 25 °C, para la estación Santa Inés en la cual se obtuvo un valor pico de 359 y un valor mínimo de 272 [día/año] en los años de 1997 y 2001 respectivamente. Es decir que prácticamente todo el año se supera los 20°C

La significancia estadística de los días de verano se presenta a continuación en la Tabla 11.

Días de Verano SU25

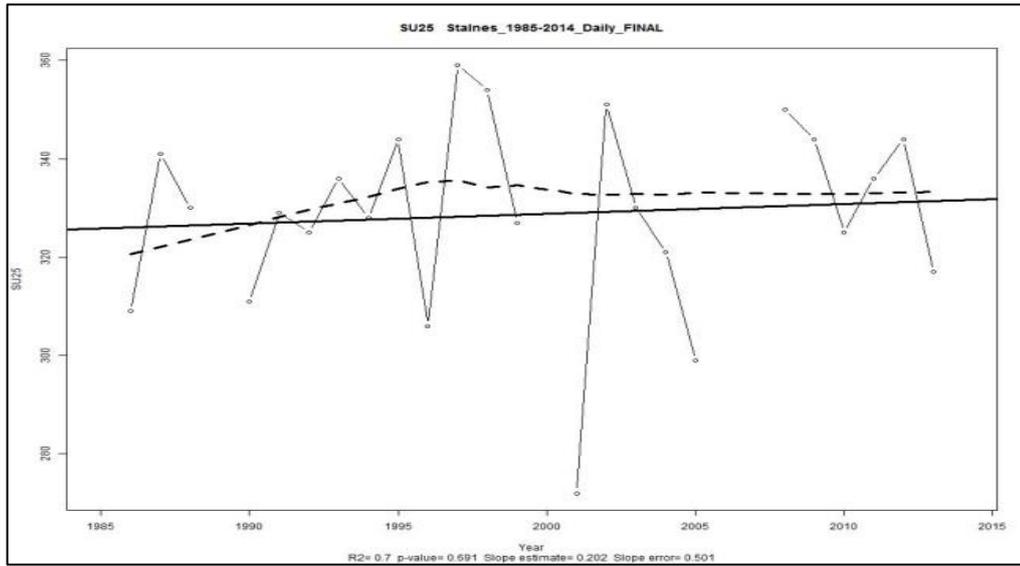


Figura 22. Días de Verano SU25, para las estaciones Santa Inés.
Elaborado por: A. Reisancho

Tabla 11.
Significancia estadística para los Días de Verano SU25

Días de Verano SU25	
Estación hacienda Santa Inés	
Significancia (valor-p)	0,691
Pendiente [días/año]	0,202
Error en la pendiente	0,501

Nota: SU25 para la estación Santa Inés. Elaborado por: A. Reisancho

En la Figura 23, para la estación Santa Inés muestra un incremento en el valor de las temperaturas mínimas de cada año y al contar con una valor-p de 0,127 se tiene una buena significancia estadística.

Valor mensual mínimo de temperatura mínima diaria TNn

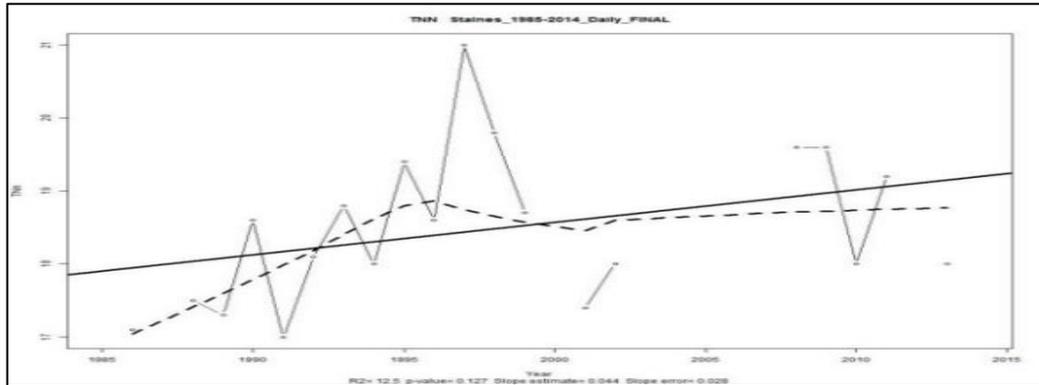


Figura 23. Valor mensual mínimo de temperatura mínima diaria TNn para las estaciones Santa Inés.

Elaborado por: A. Reisancho

Tabla 12.

Significancia estadística para los valores mínimos de temperatura mínima diaria TNn

Valor mensual mínimo de temperatura mínima diaria TNn		
	Estación hacienda Santa Inés	Estación Saraguro
Significancia (valor-p)	0,127*	0,016*
Pendiente [°C/año]	0,044	-0,114
Error en la pendiente	0,028	0,036

Nota: TNn estación Santa Inés (Izq.) y estación Saraguro (der.). El asterisco* indica un valor-p inferior a 0,2. Elaborado por: A. Reisancho

Este indicador es una muestra de que las temperaturas mínimas (generalmente dadas en las primeras horas de la madrugada) se encuentran en aumento, este fenómeno es congruente tanto con los efectos del Cambio Climático (provocado por el incremento de temperatura de la superficie del mar adyacente), como en el Efecto de Isla de Calor, producido por el proceso de urbanización, que ha sido evidente en Machala, en los últimos años.

En la Figura 24, en la estación Santa Inés se presenta el número de días al año cuando la temperatura mínima diaria es mayor a 20°C, conocido como el índice TR20 o noches tropicales, ya que las temperaturas mínimas son un buen indicador de la temperatura registrada durante la noche. En el año 2000 se presenta el valor más bajo con 260 [días/año] y en la mayoría de los años restantes del periodo de estudio sobrepasan los 320 [días/año]. Que implica que las noches tropicales representan un 87% de las noches al año, resultado congruente con el de días de verano SU25. En la Tabla 13, se representa la significancia estadística para las noches tropicales TR20 para la estación Santa Inés

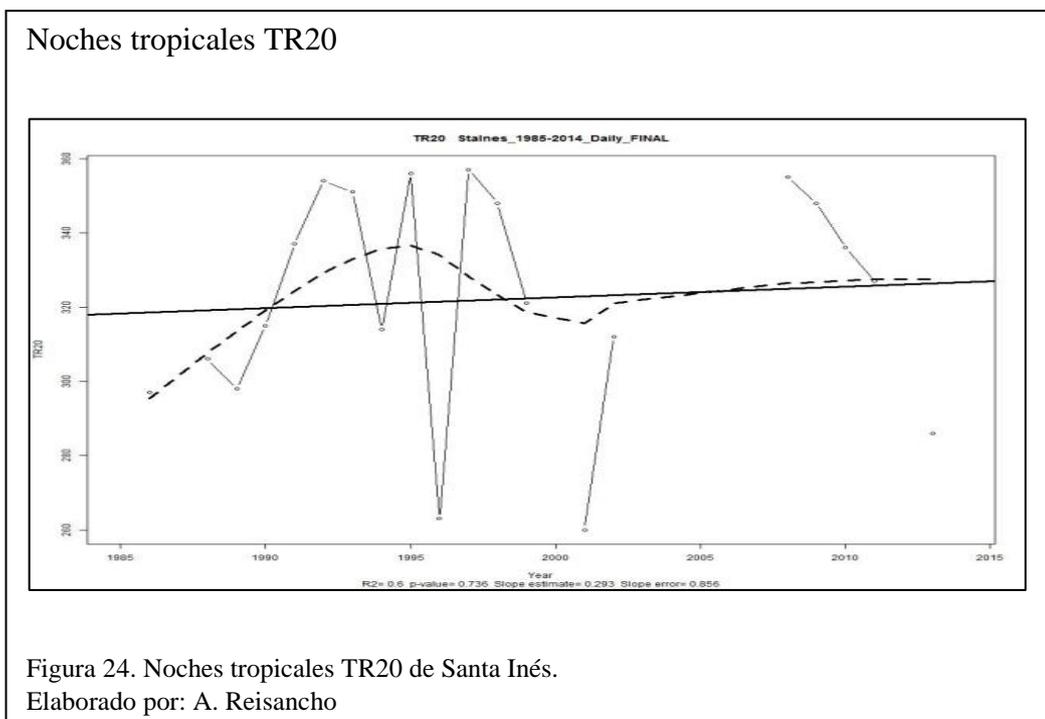


Tabla 13.
Significancia estadística para Noches tropicales TR20

Noches tropicales TR20	
Estación Hacienda Santa Inés	
Significancia (valor-p)	0,736
Pendiente [días/año]	0,293
Error en la pendiente	0,856

Nota: TR20 para la estación Santa Inés. Elaborado por: A. Reisancho

En la Figura 25, tenemos el número de días fríos TX10, contados cuando su temperatura es inferior al décimo percentil.

Registrando un valor máximo de 22.31 [días/año] que se presenta en el año 2001 y un valor mínimo de 2.86 [días/año] para el año 1998 relacionado con ENSO. La significancia estadística para los mismos datos se muestra en la Tabla 14. Se aprecia que el número de días fríos está disminuyendo de manera sostenida

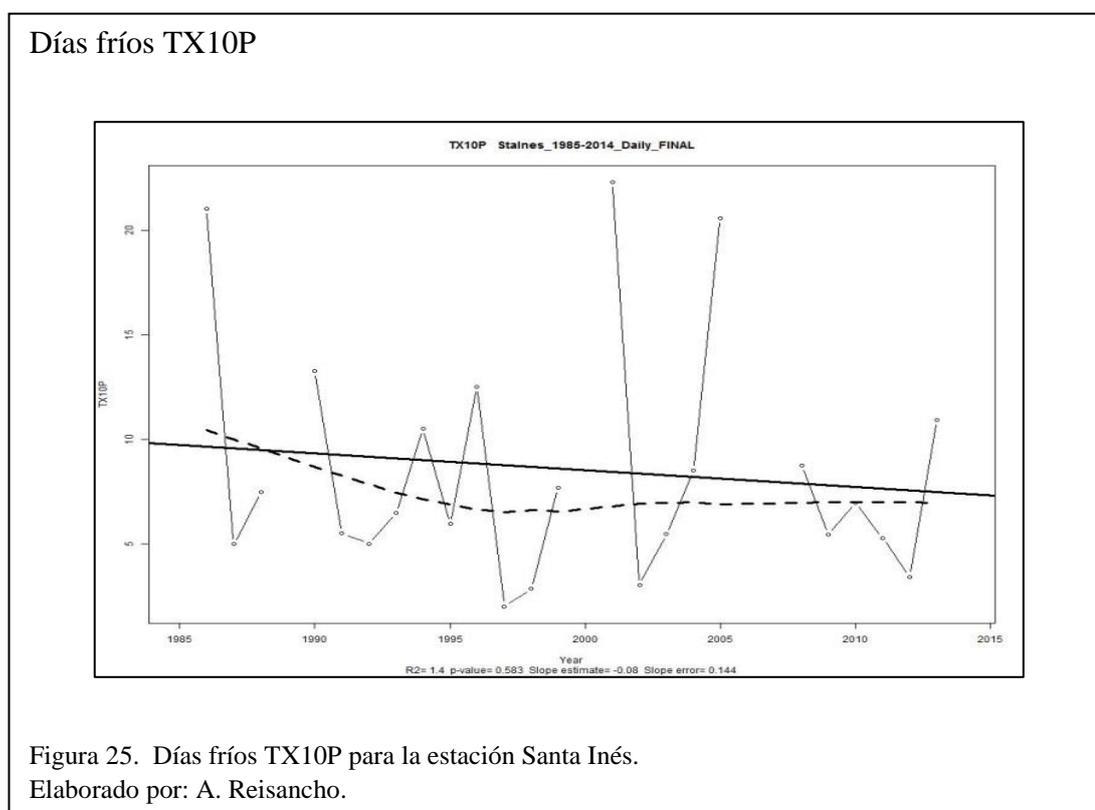


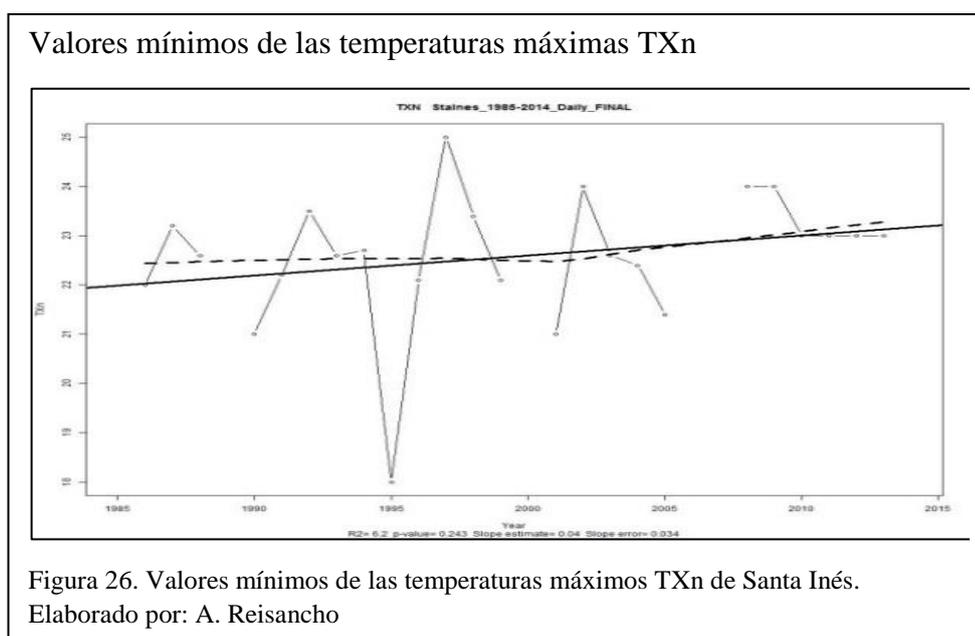
Tabla 14.
Significancia estadística para los Días Fríos TX10p

Días Fríos TX10p	
Estación hacienda Santa Inés	
Significancia (valor-p)	0,583
Pendiente [días/año]	-0,08
Error en la pendiente	0,144

Nota: TX10p para la estación Santa Inés. Elaborado por: A. Reisancho

A continuación en la Figura 26, se presentan los valores mínimos de la temperatura Máximas registradas en un año. Existe una tendencia positiva en la estación Santa Inés que presenta un mínimo de 18 [°C/año] y un máximo de 25 [°C/año].

Se aprecia como los valores mínimos de temperatura sufren un proceso de calentamiento progresivo.



En la Tabla 15 se muestran los datos estadísticos relacionados a las mínimas temperaturas máximas para la estación de Santa Inés.

Tabla 15.

Datos estadísticos para los valores mínimos de las temperaturas máximas TXn

Valores mínimos de las temperaturas máximas TXn	
Estación hacienda Santa Inés	
Significancia (valor-p)	0,243
Pendiente [°C/año]	0,04
Error en la pendiente	0,034

Nota: Tmax Tmin para la estación Santa Inés. Elaborado por: A. Reisancho

Finalmente en la Figura 27 y Tabla 16, se presenta el comportamiento de los valores anuales máximos de temperatura máxima diaria en la estación Santa Inés, se aprecia una significancia estadística que se ve afectada por la presencia de ENSO; sin embargo, a pesar de que no existe una tendencia de incremento o decremento, se aprecian una ubicación de la tendencia alrededor de los 34 [°C/año], mientras que en los años de 1997 – 1998 se presentaron valores de 34,7 y 35 [°C/año] respectivamente. Estas temperaturas son bastante elevadas inclusive para ciudades que se ubican en la región costa.

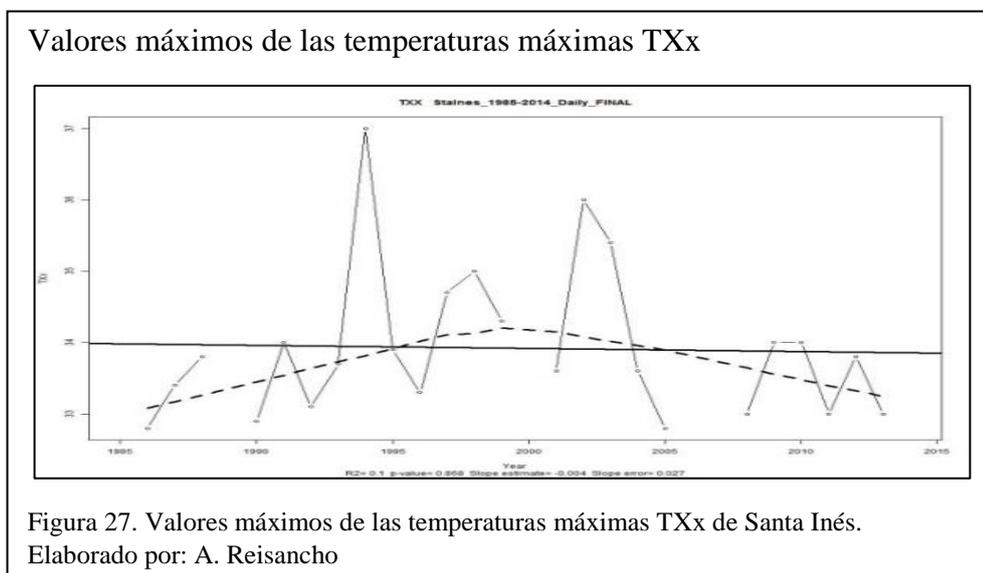


Tabla 16.

Datos estadísticos para las máximas temperaturas máximas Tmax.

Valores máximos de temperaturas máximas	
Max Tmax TXx	
Estación hacienda Santa Inés	
Significancia (valor-p)	0,868
Pendiente [°C/año]	-0,004
Error en la pendiente	0,027

Nota:Tmax TXx de Santa Inés. Elaborado por: A. Reisancho.

7.2.4 Resumen de resultados

A continuación se muestran en la Tabla 17 un resumen de los indicadores estudiados para cada una de las variables analizadas por el paquete computacional de R-Climdex para las estaciones de estudio Santa Inés y Saraguro.

Tabla 17.
Tabla resumen de significancia estadística.

INDICE	Hacienda Santa Inés	Saraguro M0142
Días secos consecutivos [día/año] (CDD)	-0,514	0,418
Valor-p	0,168	0,126
Días húmedos consecutivos [día/año] (CWD)	0,024	-0,13
Valor-p	0,746	0,187
Precipitación total anual en los días húmedos [mm/año] (PRCPTOT)	0,036	-4,328
Valor-p	0,997	0,367
Número de días con precipitación intensa [día/año] (R10)	-0,136	-0208
Valor-p	0,547	0,279
Cantidad máxima de precipitación en un día [mm/día] (RX1day)	0,712	-0,098
Valor-p	0,388	0,779
Cantidad máxima de precipitación en cinco días [mm/5días] (RX5day)	0,999	-0,972
Valor-p	0,455	0,105
Días de verano (Tx>25°) [día/año] (SU25)	0,202	-0,672
Valor-p	0,691	0,003
Valor mensual mínimo de temperatura mínima diaria [°C/año] (TNn)	0,044	-0,114
Valor-p	0,127	0,016
Noches tropicales (TN>20°C) [día/año] (TR20)	0,293	0
Valor-p	0,736	NaN
Días fríos: días cuando la temperatura máxima diaria no pasa el percentil 10 [%/año] (TX10p)	-0,08	-
Valor-p	0,583	-
Días cálidos: días con temperatura máxima sobre el percentil 90 [%/año] (TX90P)	0,05	-
Valor-p	0,883	-
Valor mensual mínimo de temperatura máxima diaria [°C/año] (TXn)	0,04	0,003
Valor-p	0,243	0,926

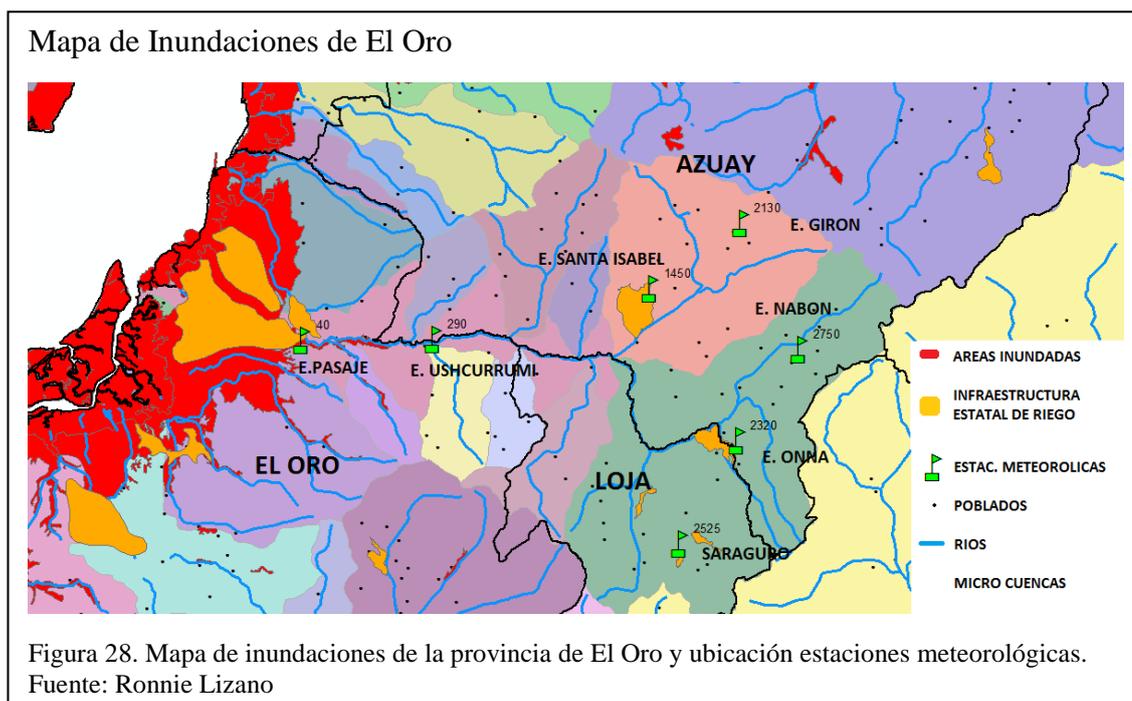
Valor máximo mensual de temperatura máxima diaria [°C/año] (TXx)	-0,004	0,173
Valor-p	0,868	0,011

Nota: significancia para los datos analizados por el paquete computacional R-Climdex para las estaciones Santa Inés y Saraguro. Elaborado por: A. Reisancho.

7.3 Vulnerabilidad y Adaptación

7.3.1 Vulnerabilidad

Las condiciones de vulnerabilidad ante inundaciones en la ciudad de Machala son conocidas por sus habitantes desde siempre. Utilizando los reportes y mapas de la SNGR, se presenta el siguiente mapa de inundaciones sobre la provincia de El Oro, Azuay y Loja (Ver Figura 28).



Es decir, que Machala es una ciudad que está al tanto de su condición de vulnerabilidad ante inundaciones, año tras año las personas avizoran los eventos de inundación, esperando que no sean demasiado destructivos (Ver Figura 29).

Fuerte lluvia inunda calles de Machala



Figura 29. Inundación reportada el día 2016-01-30 en la ciudad de Machala, sector centro.
Fuente: El tiempo: <http://www.eltiempo.com.ec/noticias-cuenca/176689-fuerte-lluvia-inunda-calles-de-machala/>

Además, Machala al ser una ciudad que se encuentra a nivel del mar, rodeada de ríos y esteros, con una marcada estacionalidad y con zonas que tienen una altura máxima de 6 m.s.n.m no cuenta con una capacidad de desagüe efectiva, lo que produce que las precipitaciones se aneguen durante horas e inclusive días.

Esta presencia de inundaciones tiene como resultado afectaciones en la agricultura, incidencia de enfermedades transmitidas por vectores e infraestructura e insumo de agua potable (Rueda & Garcia, 2002).

En lo que respecta al agua potable, cabe indicar según Macas (2015) de diario El Universo el costo actual del metro cúbico de agua potable es \$0,47 el metro cúbico de agua y la cobertura del mismo servicio básico en Machala es del 75%, mientras que del alcantarillado es del 65%, la cobertura de estos servicios se ven distribuidos en la parte central del cantón. Mientras que en el Distrito Metropolitano de Quito según la EPMAPS (2016) la cobertura de agua potable es del 98,45% y el costo promedio por

metro cúbico de este servicio básico es de \$0,43 y la cobertura del servicio de alcantarillado es de 92,70%. Por lo que se aprecia que los procesos de potabilización del agua son más caros y tienen menor cobertura en Machala.

Así, la vulnerabilidad de la ciudad de Machala es más alta que en ciudades con una mayor fuente de ingresos económicos, esta diferencia está presente por la menor cantidad de recursos disponibles para la adaptación a fenómenos extremos.

Sin embargo, la presencia de precipitaciones intensas durante el Fenómeno de El Niño marcó un antes y después de los desastres naturales a los que está “acostumbrada” la población, la más reciente experiencia El Niño, por ejemplo, durante 1997 y 1998, se visibilizó el gran impacto que puede tener este evento (Rueda & Garcia, 2002).

7.3.2 Adaptación

A pesar de la gran vulnerabilidad de la zona, debido a que los habitantes conocen de la ocurrencia prácticamente anual de los procesos de inundación; éstos tienen –al menos en parte- la infraestructura adaptada a estos eventos.

Por ejemplo, en el caso de los habitantes de Puerto Bolívar, éstos sufren de inundaciones *a diario*, debido a los efectos de la marea (Ver Figura 30). Ya que las actividades comerciales de la zona están fuertemente relacionadas con el turismo y la pesca, la mayoría de personas prefiere vivir a orillas del Malecón (Ver Figura 31), en estos casos las infraestructuras y la población se han adaptado exitosamente a estos eventos.

Efectos de la marea en Puerto Bolívar



Figura 30. Efectos en Puerto Bolívar por efecto de la marea.
Fuente: El Comercio:
<http://www.elcomercio.com/actualidad/lluvia-aguaje-inundaron-machala-oleaje.html>

Adaptación de comunidades ante inundaciones



Figura 31. Adaptación de las comunidades ante inundaciones.
Fuente: Ecuavisa
<http://www.ecuavisa.com/articulo/televistazo/noticias/118739-aguaje-provoco-inundaciones-ciudades-costeras>

Asimismo, el municipio de Machala para la llegada del fenómeno del niño del 2015 - 2016 ha implementado diferentes acciones para contrarrestar sus efectos, entre las actividades desarrolladas se tiene la “Organización de planes preventivos ante fenómeno de El Niño” los mismos que están siendo realizados por la Dirección de Gestión Ambiental y Riesgos de la municipalidad de Machala. Comprenden: con capacitación, mingas de limpieza y conformación de Comités de Emergencia (GADMachala, 2015). El programa más representativo llevado a cabo en Machala es el taller denominado “Concientización de desechos sólidos y riesgos” a los habitantes

de las riveras del estero “El macho”, en el cual se dictaron charlas sobre la disposición final de los residuos sólidos domésticos y el riesgo al que están expuestos por la crecida del estero “El Macho” en presencia del fenómeno del niño (ver Figura 32), una vez finalizada las charlas se procedió a la limpieza del estero para lo cual se utilizó maquinaria y personal municipal conjunto con los moradores de este sector (GADMachala, 2015).

Limpieza estero “El Macho”



Figura 32. Personal de Gestión Ambiental de la Municipalidad, así como estudiantes del Liceo 16 de Junio y moradores, realizaron una campaña de limpieza en el estero El Macho para mitigar la contaminación en el sector.

Fuente: GAD Machala

Por otro lado el Gobierno Nacional, a través de la Secretaria Nacional de Gestión de Riesgos (SNGR) trabaja conjuntamente con diferentes instituciones del estado entre ellas el Ministerio Coordinador de Seguridad, Ministerio de Obras Públicas, Policía Nacional, ECU 911 Machala, Fuerzas Armadas, Cuerpo de Bomberos, Comisión y Agencia Nacional de Tránsito y Ministerio de Inclusión Económica y Social (MIES). Quienes suman esfuerzos, y están preparados para realizar un trabajo coordinado antes, durante y después de cualquier desastre natural (ver Figura 33).

COE provincial de El Oro



Figura 33. Secretaria Nacional de Gestión de Riesgo e Instituciones del Estado.
Fuente: SNGR

La SNGR de la Zona 7 que comprende las provincias de Loja, El Oro y Zamora Chinchipe, para precautelar los efectos del Fenómeno de El Niño se encuentran validados 45 albergues en la provincia de El Oro (SNGR, 2016); los cuales se encuentran monitoreados constantemente para que mantengan las condiciones más adecuadas en caso de que sean utilizados. Por otro lado, la Zona 7 en general, también se encuentra monitoreada constantemente ya que la SNGR brinda apoyo en labores de evacuación, prevención, capacitación y con asistencia humanitaria a las familias afectadas, en caso de presentarse posibles desastres.

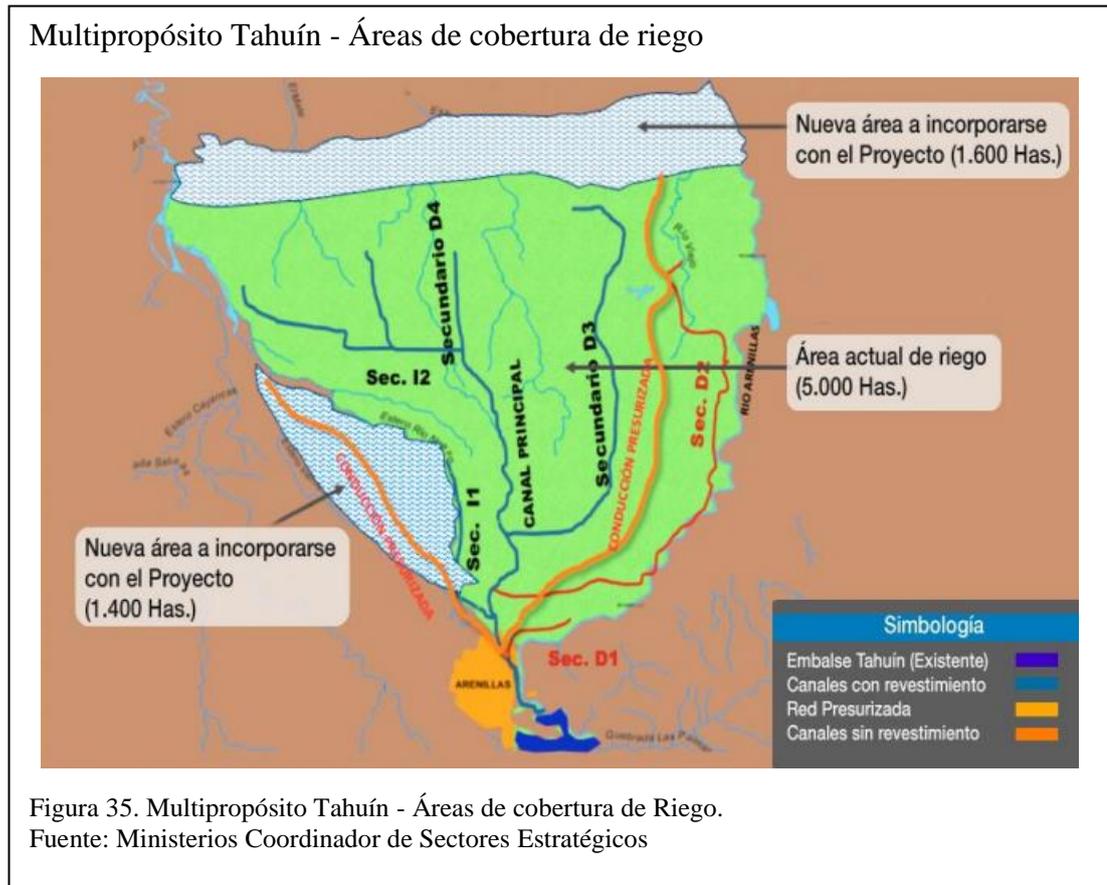
Por otra parte, el Ministerio de Salud Pública (MSP) aporta con un plan de contingencia que consiste en la identificación de las unidades de salud en zonas de riesgo, la capacitación haciendo énfasis en los sectores más vulnerables, vigilancia epidemiológica y el control de vectores. Además de proveer de insumos médicos, unidades móviles de salud a lo largo de los centros poblados afectados por los efectos

del Fenómeno de El Niño. Se prestan también servicios de rehabilitación de unidades de salud afectadas, además organiza mingas de limpieza con la participación de miembros de la comunidad y autoridades (MSP, 2016).

Además, el Gobierno Nacional del Ecuador y la Secretaria Nacional del Agua, evitando que se pierda casi el 60% del recurso hídrico en la Demarcación Hidrográfica de Jubones (SENAGUA, 2014) ha implementado la construcción de megaproyectos hídricos: como el Multipropósito Tahuín (ver Figura 34) en el cual beneficiará a todos los pobladores de Arenillas, Huaquillas, Santa Rosa y alrededores de Machala, en la provincia de El Oro. Este megaproyecto tiene como finalidad la generación hidroeléctrica de 2.50 MW, dotación de agua potable, sistema de riego el cual cubrirá aproximadamente 8.000 hectáreas (ver Figura 35), además del control de inundaciones en la cuenca media y baja del río Arenillas.



Finalmente, además de esta medida se ejecutan otras obras estructurales de prevención y mitigación de impactos provocados por el Fenómeno de El Niño que beneficiaran el control de inundaciones como la construcción de un muro de protección de gaviones en la margen derecha del río Buenavista y el desazolve a máquina del cauce río Jubones (Empresa Pública del Agua , 2015).



8 Conclusiones

Los resultados muestran una relación directa entre los eventos de inundación reportados por la SNGR y los eventos extremos de lluvia, de aquellos tanto generados en la costa como en la región Sierra, a pesar de la distancia que se encuentra entre las estaciones estudiadas, apreciándose que tanto los eventos locales como los que se encuentran río arriba, son capaces de afectar por procesos de inundación a la ciudad de Machala.

De la misma manera, se aprecia una influencia de la presencia del Fenómeno del Niño y de La Niña, que no se esperaba. Es decir, no sólo la presencia del Niño trae inundaciones, sino que también éstas se registran en la época de menos precipitaciones como La Niña.

En cuanto a los índices de cambio climático referente a precipitaciones, se puede apreciar un incremento significativo en la intensidad eventos extremos de precipitación en la región costa (RX1day, RX5day, CWD), mas no en su frecuencia (PRCPTOT). Lo que hace visiblemente que la ciudad de Machala se encuentre en amenaza por los procesos de inundación, que generalmente se dan en días puntuales. Cabe indicar que todos los índices de precipitación en la Sierra disminuyen por lo que es necesario repensar el impacto en eventos de desertización que se puede tener en esta zona.

Finalmente, en cuanto a las temperaturas, se visibiliza un incremento en las temperaturas tanto en frecuencia como en intensidad. Las temperaturas mínimas tienen un incremento mucho más significativo que las altas. Lo que puede reflejar un efecto combinado del Cambio Climático con el efecto de Isla de Calor.

En cuanto a la adaptación y vulnerabilidad en la zona de estudio, se ha observado que a pesar de que las comunidades están al tanto de la existencia del riesgo ante inundaciones, aún no existe la verdadera conciencia de prevención. Ya que aún hay personas que se ubican en los alrededores de zonas inundables: esteros (como el Macho), y costas (como el Malecón de Puerto Bolívar). Inclusive mantienen prácticas que los perjudican y los hacen más vulnerables, como el desecho de residuos sólidos y aguas servidas, en las aguas donde habitan, fomentando no sólo la presencia de mayores inundaciones, sino también la proliferación de vectores y todo tipo de enfermedades.

Cabe indicar que las acciones realizadas desde la Municipalidad y el Gobierno Central son acertadas, hay que resaltar el esfuerzo que se ha realizado desde el año 2006, incurriendo en grandes gastos e inversión tanto en infraestructura como en campañas de capacitación y concientización.

Finalmente, hay que indicar que a pesar de toda la preparación que se tiene actualmente, el incremento de eventos extremos a los que se ve expuesta la ciudad de Machala, puede siempre sobrepasar las infraestructuras más competentes. Por lo que siempre será necesario la preparación de las personas y más y mejores sistemas de información climática, hidrográfica y de gestión de riesgos.

9 Recomendaciones

Se debe tomar en cuenta a la Niña para la preparación de planes ante inundaciones ya que en el análisis realizado para este estudio se pudo identificar que en presencia de la niña también presentan inundaciones en la zona de estudio.

Las capacitaciones en los centros poblados con un alto riesgo de inundaciones deberán ser constantes y además de esto se debe trabajar desde la base de las comunidades a través de capacitaciones sobre formas de actuación frente a eventos extremos.

La implementación de sistemas de alerta temprana debe ir de la mano con la reacción de la población a este tipo de eventos.

Los planes de ordenamiento territorial deben ser realizados minuciosamente ya que de esto depende el desarrollo de las poblaciones en lugares de alto riesgo

Los planes de contingencia adoptados por el Ministerio de Salud deben ser planificados con fases: antes, durante y después del evento. Para de esta manera poder reducir el número de personas afectadas por cadenas epidemiológicas.

Las obras estructurales hidráulicas ubicadas en el área de estudio deberán contar con un diseño óptimo para el área de estudio; además, de tener un constante mantenimiento y monitoreo de su operación ya que la falla de estas estructuras puede causar más daño que la presencia de este fenómeno extremo.

Finalmente, hay que indicar que a pesar de toda la preparación que se tiene actualmente, el incremento de eventos extremos a los que se ve expuesta la ciudad de Machala, puede siempre sobrepasar las infraestructuras más competentes. Por lo que, siempre será necesario la preparación de las personas y más y mejores sistemas de información climática, hidrográfica y de gestión de riesgos.

10 Referencias

- CAF. (2000). *Las lecciones de El Niño*. Ecuador: CAF. Obtenido de <http://scioteca.caf.com/handle/123456789/675>
- Campozano, L. (2014). *Maksana*.
- Campozano, L., Ballarin, D., & Celleri, R. (2014). Imágenes TRMM para identificar patrones de precipitación e índices. *MASKANA, I+D+ingeniería*, 185-191.
- CENAPRED. (2009). *Inundaciones* (Primera ed.). (V. Ramos, Ed.) Mexico, D.F, Mexico: Centro Nacional de Prevención de Desastres.
- CEPAL-BID. (2000). *Un tema del desarrollo: la reducción de la vulnerabilidad frente a los desastres*. Nueva Orleans.
- Chérrez, A., Herrera, P., & Rivadeneira, P. (2009). Plan de Marketing Turístico para la ciudad de Machala, basado en la realidad actual y los proyectos a desarrollarse en los próximos 3 años . (ESPOL, Ed.)
- Empresa Pública del Agua . (15 de Diciembre de 2015). *empresaagua*. Obtenido de “OBRAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE IMPACTOS PROVOCADOS POR EL FENÓMENO:
<http://www.empresaagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/12/Manifestaciones-de-inter%C3%A9s-Fenomeno-del-Ni%C3%B1o.pdf>
- EPMAPS. (8 de Abril de 2016). *EPMAPS Agua de Quito*. Obtenido de <http://www.aguaquito.gob.ec/distribucion-0>
- GADMachala. (9 de Septiembre de 2015). *Acciones para mitigar fenómeno de El Niño: MUNICIPALIDAD DE MACHALA PREPARA TALLER DE PREVENCIÓN DE RIESGOS Y DESECHOS SÓLIDOS EN EL MACHO*. Obtenido de Alcaldía Machala-Noticias:
<http://www.machala.gob.ec/noticias/acfnino.html>
- GADMachala. (22 de Octubre de 2015). *MUNICIPALIDAD DE MACHALA CONTINÚA ORGANIZANDO PLANES PREVENTIVOS ANTE FENÓMENO DE EL NIÑO*. Obtenido de Alcaldía Machala-Noticias:
<http://www.machala.gob.ec/noticias/ppfn1015.html>
- GADMachala. (19 de Septiembre de 2015). *MUNICIPALIDAD DE MACHALA REALIZÓ MINGA DE LIMPIEZA EN ESTERO EL MACHO*. Obtenido de <http://www.machala.gob.ec/noticias/limpiezaelmacho.html>
- Google. (s.f). *Mapa de Machala*. Recuperado el Abril de 2016, de Ecuador en Google maps: <https://www.google.com.ec/maps/place/Machala/@-3.2549737,-79.9682263,12177m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x90330e252f104ed1:0xea4e189f2b2da97e!8m2!3d-3.2581112!4d-79.9553924>
- INDECI. (2006). *Manual Básico para la Estimación del Riesgo* (Primera ed.). Lima, Perú: Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI).

- IPCC. (1996). *Climate Change 1995, The Science of Climate Change* . CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS.
- Landa, R., Magaña, V., & Neri, C. (2008). *Agua y clima: elementos para la adaptación al cambio climático*. Tlalpan, Mexico D.F., Mexico: SEMART.
- Macas, F. (4 de Agosto de 2015). La tarifa de agua aumentó en Machala. *El Universo*. Obtenido de <http://www.eluniverso.com/noticias/2015/08/04/nota/5053273/tarifa-agua-aumento-machala>
- Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos. (27 de Octubre de 2015). *Ecuador 2015: Inversiones Estratégicas*. Obtenido de <http://www.sectoresestrategicos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/11/Proyectos-Hi%CC%81dricos.pdf>
- MSP. (12 de Febrero de 2016). *Infórmate sobre el Fenómeno de El Niño*. Obtenido de Sin categoría: <http://www.salud.gob.ec/informate-sobre-el-fenomeno-de-el-nino/>
- Muñoz, Á., Recalde, C., Cadena, J., Núñez, A., Díaz, J., & Mejía, R. (2010). *Análisis Estadístico con Fclimindex para Ecuador, Informe Final*. Ecuador: INAMHI-MAE.
- NOAA. (16 de Junio de 2015). *Description of Changes to Oceanic Niño Index (ONI)*. Obtenido de National Weather Service Climate Prediction Service : http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_change.shtml
- NOAA. (17 de Septiembre de 2015). *El Niño/Southern Oscillation*. Obtenido de National Weather Service Weather Forecast Office: <http://www.srh.noaa.gov/fwd/?n=basics>
- OMM. (2012). *Glosario Hidrológico Internacional* . Suiza: Organizacion Meteorológica Mundial.
- Riebeek, H. (28 de Marzo de 2005). *The Rising Cost of Natural Hazards*. Obtenido de NASA Earth Observatory: <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/RisingCost/>
- Rueda, V., & Garcia, C. (2002). Vulnerabilidad y adaptación regional ante el cambio climático y sus impactos ambientales, sociales y económicos. *Gaceta Ecológica* , 7-23.
- Santos, J. (2004). *RClimdex (1.0) Manual del Usuario - Versión en Español*. CIIFEN.
- Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo. (2013). *Proyectos emblemáticos en El Oro*. Loja: SENPLADES. Obtenido de Proyectos emblemáticos en El Oro.
- SENAGUA. (6 de Febrero de 2014). *Secretaría del Agua > Comunicamos > Noticias* . Obtenido de Presidente Rafael Correa: “Multipropósito Tahuín, una

obra para sacarle el máximo provecho”: <http://www.agua.gob.ec/presidente-rafael-correa-multiproposito-tahuin-una-obra-para-sacarle-el-maximo-provecho/>

- Serrano Vinenti, S., Vásquez, N., Jácome, P., & Basile, L. (2014). Critical Phenomena of Rainfall in Ecuador. *Sun and Geosphere*, 9(1), 73-76.
- Serrano, S., Zuleta, D., Jacome, P., Palacios, E., & Marcos, V. (2012). ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS METEOROLÓGICOS MENSUALES Y DIARIOS PARA LA DETERMINACIÓN DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y CAMBIO CLIMÁTICO EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO. *La Granja*, 23-47.
- SNGR. (2012). *Reporte de Inundaciones en la Costa ecuatoriana*.
- SNGR. (21 de Enero de 2016). *Secretaría de Gestión de Riesgos*. Obtenido de El Oro cuenta con 45 albergues para enfrentar el Fenómeno de El Niño: <http://www.gestionderiesgos.gob.ec/coe-provincial-de-el-oro-articulaciones-para-enfrentar-fenomeno-de-el-nino/#search>
- SNI. (21 de Febrero de 2014). *Cantón MACHALA, Provincia de EL ORO se encuentra en la Zona 7 de planificación*. Obtenido de Machala El Oro: http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/Portal%20SNI%202014/FICHAS%20F/0701_MACHALA_EL%20ORO.pdf
- Subia, G. (2002). El niño 1997 - 1998, máximas precipitaciones y caudales registrados, áreas de afectación. *Curso internacional CISMID-JICA, II: Mitigación de los Efectos Causados por el Fenomeno El Niño*, (pág. 11). Lima. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/texcom/cd046995/GSubia.pdf>
- Trenberth, K., & (Eds.), N. C. (2 de Febrero de 2016). *The Climate Data Guide: Nino SST Indices (Nino 1+2, 3, 3.4, 4; ONI and TNI)*. Obtenido de <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/nino-sst-indices-nino-12-3-34-4-oni-and-tni>.
- UCAR. (2012). *The COMET Program*. Obtenido de UCAR COMMUNITY PROGRAM: https://www.meted.ucar.edu/climate/impacts/region_es/index.htm
- UNICEF. (2011). *Línea Base de la provincia de El Oro*. El Oro: UNICEF. Obtenido de http://www.unicef.org/ecuador/LIBRO_DE_EL_ORO_Parte1.pdf
- Zhang, X., & Yang, F. (2004). *R-climindex user's manual*. Ontario: Climate Research Branch Environment Canada.

11 Anexos

Anexo 1. Definición de los Índices R-Climdex

ID	Nombre del Indicador	Ecuación utilizada por R-Climdex
FD0	<i>Frost days</i> (Días de heladas)	$Tn_{ij} < 0^{\circ}\text{C}$
SU25	<i>Summer days</i> (Días de verano)	$Tx_{ij} > 25^{\circ}\text{C}$
ID0	<i>Ice days</i> (Días de hielo)	$Tx_{ij} < 0^{\circ}\text{C}$
TR20	<i>Tropical nights</i> (Noches tropicales)	$Tn_{ij} > 20^{\circ}\text{C}$
GSL	<i>Growing season Length</i> (Duración de la estación de cultivo)	$T_{ij} > 5^{\circ}\text{C}$ $T_{ij} < 5^{\circ}\text{C}$
TXx	Max Tmax	$TXx_{kj} = \max(Tx_{kj})$
TNx	Max Tmin	$TNx_{kj} = \max(Tn_{kj})$
TXn	Min Tmax	$TXn_{kj} = \min(Tx_{kj})$
TNn	Min Tmin	$TNn_{kj} = \min(Tn_{kj})$
TN10p	<i>Cool nights</i> (Noches frías)	$Tn_{ij} < Tn_{in10}$
TX10p	<i>Cool days</i> (Días fríos)	$Tx_{ij} < Tx_{in10}$
TN90p	<i>Warm nights</i> (Noches calientes)	$Tn_{ij} > Tn_{in90}$
TX90p	<i>Warm days</i> (Días calientes)	$Tx_{ij} > Tx_{in90}$
WSDI	<i>Warm spell duration indicador</i> (Indicador de la duración de periodos calientes)	$Tx_{ij} > Tx_{in90}$
CSDI*	<i>Cold spell duration indicador</i> (indicador de la duración de periodos fríos)	$Tn_{ij} < Tn_{in10}$
DTR	<i>Diurnal temperature range</i> (rango diario de temperatura)	$DTR_j = \frac{\sum_{i=1}^I (Tx_{ij} - Tn_{ij})}{I}$
RX1day	<i>Max 1-day precipitation amount</i> (Cantidad Máxima de precipitación en un día)	$Rx1day_j = \max(RR_{ij})$
Rx5day	<i>Max 5-day precipitation amount</i> (Cantidad Máxima de precipitación en 5 días)	$Rx5day_j = \max(RR_{kj})$
SDII	<i>Simple daily intensity index</i> (Índice simple de intensidad diaria)	$SDII_j = \frac{\sum_{w=1}^W RR_{wj}}{W}$

R10	<i>Number of heavy precipitation days</i> (Número de días con precipitación intensa)	$RR_{ij} \geq 10mm$
R20	<i>Number of very heavy precipitation days</i> (Número de días con precipitación muy intensa)	$RR_{ij} \geq 20mm$
Rnn	<i>Number of days above nmm</i> (Número de días sobre nn mm)	$RR_{ij} \geq nmm$
CDD*	<i>Consecutive dry days</i> (Días secos consecutivos)	$RR_{ij} < 1mm$
CWD*	<i>Consecutive wet days</i> (Días húmedos consecutivos)	$RR_{ij} \geq 1mm$
R95p	<i>Very wet days</i> (Días muy húmedos)	$R95 p_j = \sum_{w=1}^w RR_{wj}$ where $RR_{wj} > RR_{wn95}$
R99p	<i>Extremely wet days</i> (Días extremadamente secos)	$R99 p_j = \sum_{w=1}^w RR_{wj}$ where $RR_{wj} > RR_{wn99}$
PRCPT OT	<i>Annual total wet-day precipitation</i> (Precipitación total anual en los días húmedos)	$PRCPTOT_j = \sum_{i=1}^I RR_{ij}$